

Научная статья

УДК 338.48; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-156-169

## **МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППИРОВКИ СИЛ И СРЕДСТВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

✉ Белоуско Юрий Александрович.

Главное управление МЧС России по Республике Мордовия, г.о. Саранск,  
Республика Мордовия

✉ [belousko.y@inbox.ru](mailto:belousko.y@inbox.ru)

*Аннотация.* На данный период времени в системе МЧС России при планировании определения местоположения элементов группировки ликвидации последствий чрезвычайной ситуации разработаны и используются в основном «ручные» и частично автоматизированные методики расчетов. Основными недостатками известных методик служат большие трудовые и временные затраты, потребность высокой квалификации исполнителей, а также существенное значение фактора субъективности в полученных результатах. При реализации процесса планирования эти факторы негативно влияют на качество расчетов. Рассматривается автоматизация расчетов с использованием модели оценки свойств участков местности на цифровой карте в предлагаемых форматах. Апробация предложенной в статье методики решения задач выбора местоположения элементов группировки сил и средств при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации показывает, что применение цифровой карты местности действительно позволяет повысить качество принимаемых решений.

*Ключевые слова:* математическая модель, методика принятия решения, выбор местоположения, картографическая информация, цифровая карта

**Для цитирования:** Белоуско Ю.А. Методика поддержки принятия решений по выбору местоположения элементов группировки сил и средств при ликвидации чрезвычайных ситуаций // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 2. С. 156–169. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-156-169.

Scientific article

## **THE METHODOLOGY OF DECISION SUPPORT FOR THE CHOICE OF THE LOCATION OF THE ELEMENTS OF THE GROUPING OF FORCES AND FUNDS FOR EMERGENCY RESPONSE**

✉ Belousko Yuriy A.

The Main directorate of EMERCOM of Russia in the Republic of Mordovia, Saransk, Republic of Mordovia

✉ [belousko.y@inbox.ru](mailto:belousko.y@inbox.ru)

*Abstract.* For this period of time, the EMERCOM of Russia system has developed and uses mainly «manual» and partially automated calculation methods when planning the location of elements of the emergency response grouping. The main disadvantages of the known methods are the high labor and time costs, the need for highly qualified performers, as well as the significant importance of the subjectivity factor in the results obtained. When implementing the planning process, these factors negatively affect the quality of calculations. Automation of calculations using a model for estimating the properties of terrain on a digital map in the proposed formats is considered. The approbation of the methodology proposed in the article for solving the problems of choosing the location of elements of the grouping of forces and means in the aftermath of an emergency situation shows that the use of a digital terrain map really allows you to improve the quality of decisions.

*Keywords:* mathematical model, decision-making methodology, location selection, cartographic information, digital map

**For citation:** Belousko Yu.A. The methodology of decision support for the choice of the location of the elements of the grouping of forces and funds for emergency response // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 2. P. 156–169. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-156-169.

## Введение

В настоящее время уровень развития единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), коренные качественные изменения в средствах и способах реализации мероприятий по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, повышение объема и многоаспектности информации, обрабатываемой должностными лицами органов управления РСЧС выдвинули проблему совершенствования системы управления в число важнейших, во многом определяющих степень реализации потенциальной мощи МЧС России.

Введение в процессы поддержки принятия решений автоматизированных систем с использованием новых информационных технологий является одним из путей модернизации системы.

В функционирующих системах возможно представление цифровой карты (ЦК) в типизации различных видов. Под видом ЦК понимается индивидуально установленный порядок распределения цифровой картографической информации разработчиком (изготовителем) ЦК. Изготовители выпускают ЦК различных форматов, в том числе и форматы обмена. Эти форматы рассчитаны для поставки цифровых карт предприятиям и организациям, которые применяют геоинформационные технологии.

Принятие решения на проведение аварийно-спасательных работ (АСР) – это особенно важный и сложный этап процесса управления. Он состоит в определении порядка достижения намеченной цели, средствах и силах, которые привлекаются, а также способах и методах решения задач ликвидации ЧС.

Среди задач, требующих больших трудозатрат при составлении плана АСР, особое место занимает задача поиска и выбора подходящего района для размещения элементов группировки реагирования на ЧС, что обуславливает необходимость поддержки принятия решения при решении данного класса задач.

Должностные лица выбирают район, размещение в котором оценивается с точки зрения различных критериев. Например, район размещения элементов группировки ликвидации последствий чрезвычайной ситуации (ЛПЧС) выбирают по таким критериям, как наличие защитных свойств местности, а также её доступность для действий подразделения вне дорог; наличие и состояние дорог, характер естественных преград, оценивается их использование и последствия в случае разрушения; характер грунтов, глубина залегания грунтовых вод, наличие источников воды и её пригодность для питья и приготовления пищи, наличие и возможности использования местных средств и материалов для выполнения задач по инженерному оборудованию района.

## Методы исследования

Сформулируем сущность математической задачи выбора местоположения элементов группировки ЛПЧС и приведем формальную постановку задачи выбора местоположения элементов группировки ЛПЧС.

Допустим, существует некая местность, на которой нужно развернуть один или несколько элементов группировки ЛПЧС, которую представим в виде множества элементарных участков местности (ЭУМ)  $T = \{e_{ij}\}$ . В цифровой картографии предусматривается представление территории в матричной форме [1].

Каждый ЭУМ характеризуется набором параметров  $\{P_i\}, i=1,4$ , где  $P_1$  – «требуемые»;  $P_2$  – «запретные»;  $P_3$  – «мешающие»;  $P_4$  – «полезные» параметры.

По значениям параметров производится их выбор. Поэтому необходимо найти такое  $e_{ij}$ , принадлежащее множеству  $T$ , для которого выполняются условия  $G_{\text{запр}} = 0$ ,  $G_{\text{меш}} \rightarrow 0$ , а показатель эффективности  $F_i$  достигает максимума, то есть  $F_i(G_{\text{пол}}, G_{\text{треб}}) \rightarrow \max$ .

Здесь  $G_{\text{запр}}$  обозначает множество значений запрещающих параметров;  $G_{\text{меш}}$  – значения мешающих параметров;  $G_{\text{пол}}$  – значения полезных параметров;  $G_{\text{треб}}$  – значения требуемых факторов [2].

Решение задачи выбора местоположения элементов группировки ЛПЧС определяется состоянием системы и среды, на которую воздействует система для достижения цели на момент завершения решения задачи. Количественно исход операции выражается обобщенным показателем исхода операции (ОПИО), обозначенным как  $\bar{P} = f(P_1, P_2, \dots, P_n)$ , где  $P_1, P_2, \dots, P_n$  – показатели, составляющие ОПИО ( $n$  – их общее количество) [3].

По характеру влияния на выбор района размещения элементов группировки ЛПЧС все факторы (а они описываются совокупностью показателей) условно разделяются на четыре группы:

- 1) «требуемые» факторы  $P_1 = \langle P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1k} \rangle$ ;
- 2) «запретные» факторы  $P_2 = \langle P_{21}, P_{22}, \dots, P_{2m} \rangle$ ;
- 3) «мешающие» факторы  $P_3 = \langle P_{31}, P_{32}, \dots, P_{3c} \rangle$ ;
- 4) «полезные» факторы  $P_4 = \langle P_{41}, P_{42}, \dots, P_{4l} \rangle$ .

Охарактеризуем составляющие каждой из этих групп.

Под «требуемыми» факторами будем понимать условия, предписания, положения, которые предъявляются к участкам местности района проведения ЛПЧС при выборе местоположения элементов группировки ЛПЧС. В состав «требуемых» факторов целесообразно отнести:

- транспортную доступность ( $P_{11}$ );
- рельеф местности ( $P_{12}$ );
- электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств ( $P_{13}$ ).

Для оценки транспортной доступности местности земная поверхность разбивается на квадраты (участки местности). Причем центр квадрата связывается с соседними восьмью квадратами, затем анализируются ребра и номер группы связности, по которым возможно перемещение в направлении на восемь соседних квадратов (рис. 1).

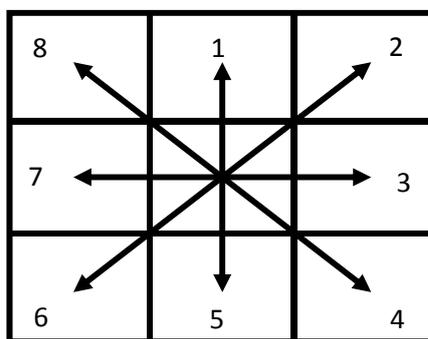


Рис. 1. Схема связности участков местности

Две любые вершины, имеющие один номер группы связности, могут быть связаны одним путем по графу. Те ребра, по которым перемещение не возможно, исключаются из анализа.

Строится граф, вершинами которого являются центры участков, а ребрами – отрезки прямых, связывающих соседние участки.

Граф разбивается на подграфы, не связанные между собой. Производится их нумерация. Номер, присвоенный каждому подграфу, принято называть номером группы связности. В результате оценки связности графа каждому участку дороги приписывается номер группы связности с тем, чтобы между любыми участками дороги с одинаковыми номерами существовал маршрут движения, а с разными номерами – нет.

Исходя из того, что при выборе участков местности для развертывания элементов группировки ЛПЧС требуется наличие не менее двух подъездных путей, следовательно, это условие будет выполнимо для выбранного ЭУМ в случае, если он имеет один номер группы связности и из него выходят два ребра.

Рассмотрим механизм учета особенностей рельефа местности ( $P_{12}$ ). Следует отметить, что рельеф местности не должен вносить дополнительного ограничения на требуемое качество и надежность связи.

Влияние рельефа местности при выборе местоположения элементов системы связи оценивается с использованием «угла закрытия». Под «углом закрытия» понимается угол между горизонтальной плоскостью, проходящей через электрический центр антенны (параллельно плоскости касательной к земному эллипсоиду в точке стояния станции), и линией, направленной к вершинам контуров рельефа местности (рис. 2).

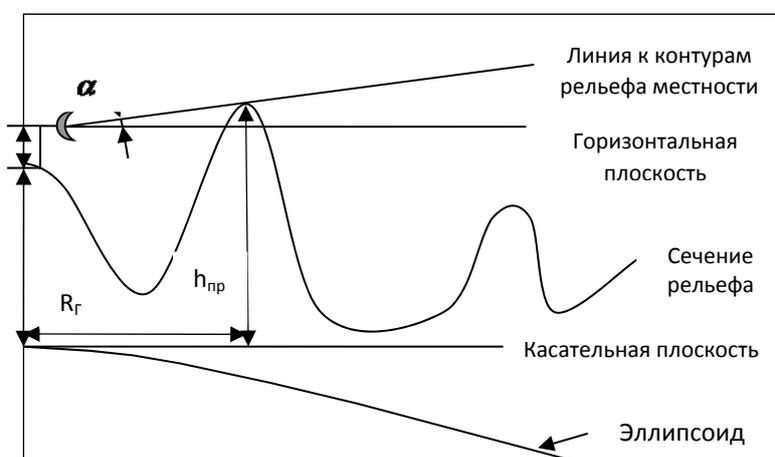


Рис. 2. Определения угла закрытия ЭУМ

( $h_{пр}$  – высота приподнятости горизонта;  $R_{Г}$  – дальность горизонта;  $\alpha$  – угол закрытия)

Электромагнитная совместимость (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) является важнейшим «требуемым» фактором ( $P_{13}$ ), который необходимо учитывать при планировании мест размещения элементов группировки ЛПЧС.

ЧС порождает разнообразные факторы, которые способны оказать вредное воздействие на человека, животный и растительный мир, а также на объекты народного хозяйства. Эти факторы принято называть поражающими. По механизму действия они могут быть первичными, вторичными и комбинированными.

Поражающие факторы разнообразных ЧС отрицательно сказываются на животных, окружающей среде и человечестве, провоцируют смерть людей, пагубно влияют на окружающую среду и нарушают санитарно-гигиеническую, санитарно-эпидемиологическую обстановку. Воздействие уничтожающих факторов ЧС на людей и окружающую среду обуславливается как насыщенностью, так и длительностью влияния [4].

Следовательно, в соответствии с разным характером влияния составляющих на выбор местоположения элементов группировки ЛПЧС предлагается отдельно использовать их в «мешающих» и «полезных» факторах [5].

Методика, основанная на применении средств геоинформационной технологии для поддержки принятия решений по выбору местоположения элементов группировки ЛПЧС

в единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайной ситуации (РСЧС) должна реализовывать анализ семантической и метрической картографической информации, а также более широко использовать пространственно-логические связи между объектами ЦК.

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим методику, включающую в себя последовательность четырёх базовых этапов (рис. 3):

Этап 1 – Определение параметров района действий частей и подразделений группировки ЛПЧС.

Этап 2 – Подготовка исходных данных для расчетов.

Этап 3 – Преобразование данных и проведение расчетов.

Этап 4 – Формирование формата применения ЦКМ и выбор вариантов решений.

Этап 1. Осуществляется определение показателей развития задачи выбора местоположения элементов группировки ЛПЧС. Они вызваны информационными потребностями функциональных задач и условиями к возможной неточности итогов подсчета [6].

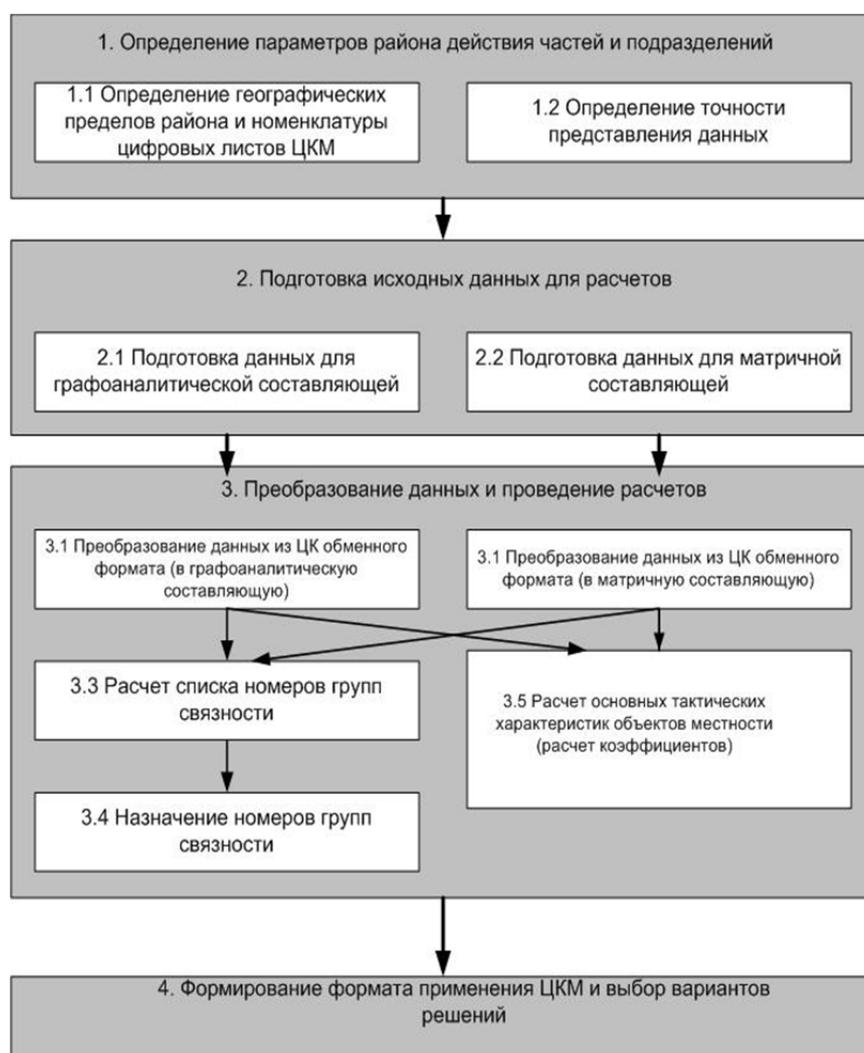


Рис. 3. Методика поддержки принятия решений по выбору местоположения элементов группировки ЛПЧС в системе РСЧС на основе географической информационной системы (ГИС)

Место расположения определяет координаты северо-западных  $\langle \varphi_{NW}, \lambda_{NW} \rangle$  и юго-восточных  $\langle \varphi_{SE}, \lambda_{SE} \rangle$  углов.

Блок 1.1 методики определяет множество возможных координат района  $\Psi$  и список ЦК, нужных для решения задачи:

$$\Psi = \{ \langle \varphi, \lambda \rangle : \varphi_{NW} \leq \varphi \leq \varphi_{SE}; \lambda_{NW} \leq \lambda \leq \lambda_{SE} \},$$

где  $\langle \varphi_{NW}, \lambda_{NW} \rangle$  – широта и долгота северо-западного угла района;  $\langle \varphi_{SE}, \lambda_{SE} \rangle$  – широта и долгота юго-восточного угла района.

Для решения блока 1.1 выбирается картографическая проекция и подходящая для неё система координат, на их основании будет создана модель местности. Итоги исследований являются доказательством рациональности использования географической системы координат, чтобы обеспечить согласованность между подмоделями [7].

В методику введен блок 1.2, чтобы определять достоверность представления ЦКИ и расчета необходимого объема памяти. Во время решения этого этапа подбирается самый маленький масштаб ЦК. Для определения точности представления ЦКИ существует формула:

$$\sigma = S \times 0,5,$$

где  $S$  – масштаб ЦК.

Чтобы рассчитать необходимый объем памяти ( $V$ ), нужно применить следующее выражение:

$$V = C_{NW} \times C_{SE} \times V_{ЭУМ},$$

где  $C_{NW}$  – количество ячеек с севера на юг;  $C_{SE}$  – количество ячеек с востока на запад;  $V_{ЭУМ}$  – объем необходимой памяти для одной ЭУМ.

Этап 2 заключается в предшествующей подготовке исходных данных для производства подсчетов. Сначала происходит чтение списка ЦК, после чего формируется список объектов на район ответственности, с последующим преобразованием координат объектов из координат ЦК обменного формата «SXF», сшивка метрических данных объектов у них располагается на границе листов ЦК. Проводится выбор картографических объектов, принадлежащих выбранному множеству  $\Psi$  из ЦК для графоаналитической составляющей:

$$G = \{ (\varphi_k, \lambda_k) \in \{ \Psi_u^r, \lambda_u^r \}_{u=1}^U \in \Psi \}.$$

Далее происходит разделение памяти структурированного вида для следующего формирования графа дорожной сети [8].

Затем происходит выбор всех картографических объектов. Географические координаты у них принадлежат выбранному множеству  $\Psi$  из ЦК, применяя данную формулу:

$$A = \{ \{ a_{i,j} \}_{i=1, j=1}^{I,J} : (\varphi_{i,j}, \lambda_{i,j}) \in \Psi \}.$$

Этап 3 методики определен для изменения ЦКИ из обменного формата в формат применения (блок 3.1, 3.2).

В блоке 3.1 осуществляется переход КИ структуры в структуру данного образа:

$$M \xrightarrow{k \in K_G} G,$$

где  $K_G$  – множество картографических объектов слоя ЦК.

В блоке 3.2 осуществляется преобразования вида:

$$M \xrightarrow{k \in K} S,$$

где  $K$  – множество всех картографических объектов.

Они представляют из себя решение большинства элементарных автоматизированных операций над различными картографическими объектами (включение, объединение, пересечение) [9].

Затем, в блоках 3.3 и 3.4, осуществляется анализ транспортной доступности района. В то же время вычисляется список номеров групп связности для элементарных участков местности, и присваиваются номера групп связности матрицы и графоаналитического компонента.

Сначала определяются номера групп связности в матричной составляющей:

$$\langle A: a_{i,j} = \{\theta_{i,j}^p, p = \overline{1, P}\} \rangle.$$

Для вершин графа дорожной сети определяется группа связности, соответствующая группе связности участка местности  $a_{i,j}$ . Адресом ЭУМ  $i,j$  являются координаты вершины графа  $\langle \varphi_V, \lambda_V \rangle$ .

$$\langle G: V = \{v_k, \theta^p | p = \overline{1, P}\} \rangle.$$

В блоке 3.5 осуществляется подсчет коэффициентов условий движения [10].

Реализация блока осуществляется данным способом:

– производится организация цикла ( $i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ );

– осуществляется определение для ЭУМ  $a_{i,j}$  координат  $\langle \varphi_{i,j}, \lambda_{i,j} \rangle$ ;

– производятся поиски множества объектов  $M_l = \{O_l \in O_k, l = \overline{1, L}\}$ .

Их координаты:  $\langle \varphi_{i,j}, \lambda_{i,j} \rangle \in \Psi$ ;

– для множества  $M_l$  выбираются семантические характеристики картографических объектов, оценивающие коэффициенты условий движения из элементарного участка местности по направлению соседних ячеек;

– возвращение к первому пункту инструкции.

На этапе 4 информация сжимается с использованием квадратичного дерева, записывается в виде файлов ЦК формата применения и применяется для выбора вариантов решений.

Рассмотрим работу алгоритма решения задачи выбора местоположения группировки ЛПЧС [10].

Алгоритм решения задач выбора района размещения элементов группировки ЛПЧС имеет много схожих этапов. Сформулируем общую постановку подзадачи выбора района размещения элементов группировки ЛПЧС с применением ЦКМ формата представления. Пусть задан участок местности (точка). Требуется выбрать такие ЭУМ  $e_{i,j}$ , принадлежащие множеству  $T$  и характеризующиеся набором параметров  $P_i$  («требуемых», «запретных», «мешающих» и «полезных») со значениями  $G$ , для которых должно выполняться условие  $G_{\text{запр}} = 0, G_{\text{меш}} \rightarrow 0$ , и показатель эффективности  $F_i$  должен достигать максимума, то есть  $F_i(G_{\text{треб}}, G_{\text{пол}}) \rightarrow \max$  [11].

Таким образом, район размещения элементов группировки ЛПЧС будет выбран оптимально в той точке, где достигается  $\max_{(i)} (F_i)$ .

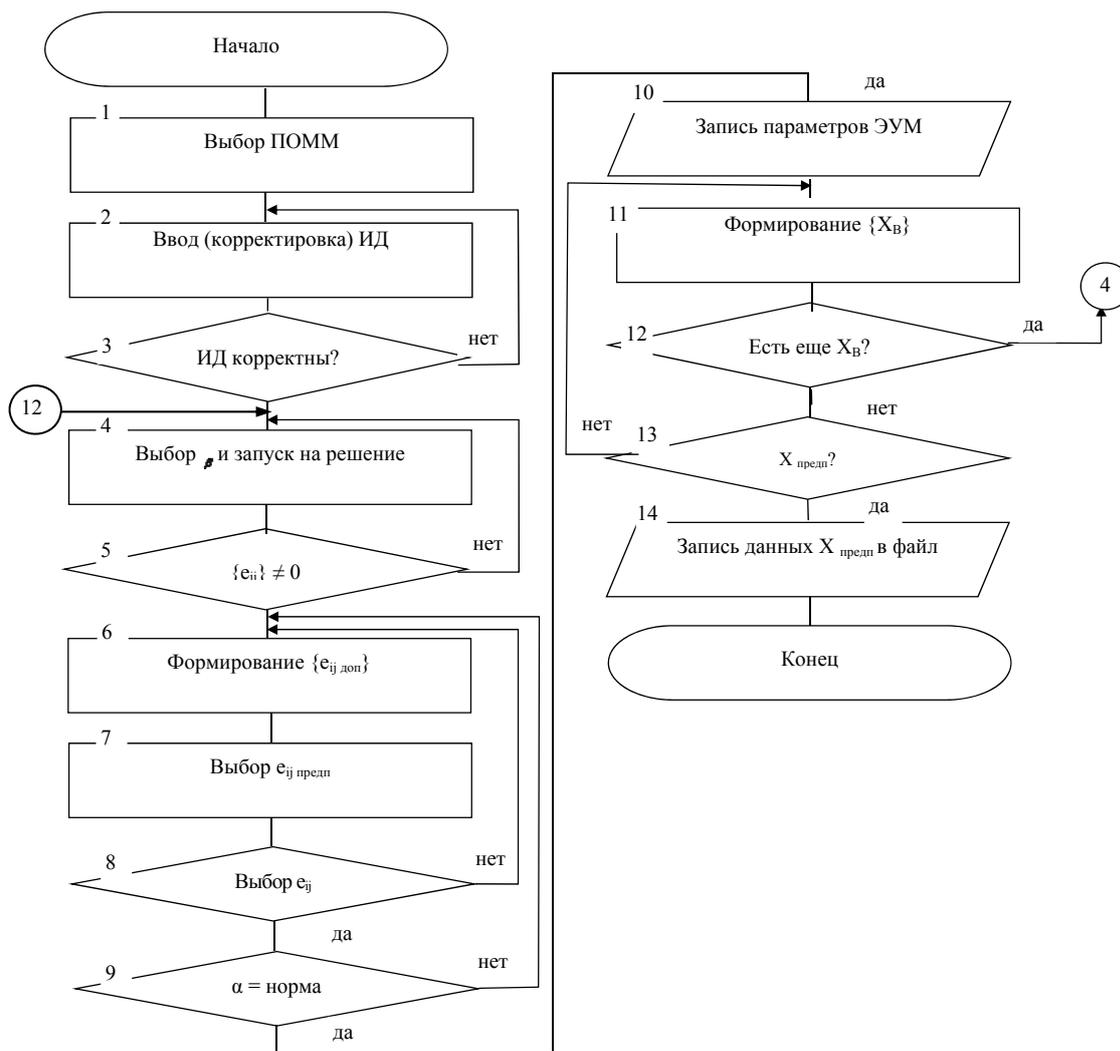
Решение задач по выбору района размещения элементов группировки ЛПЧС в общем случае будет включать в себя следующие этапы:

1. Подготовка исходных данных для решения задачи.
2. Выбор модели для планируемого района.
3. Ввод исходных данных (ИД).

4. Выбор наилучшего (желаемого) ЭУМ Автоматизированного рабочего места (АРМ) должностного лица (ДЛ) органов управления (ОУ) РСЧС может осуществляться программно или принудительно («вручную»).

5. После решения нескольких вариантов (либо одного), лучший вариант фиксируется в графическом виде, а в виде таблицы задаются другие данные. После завершения решения задачи выбора района размещения элементов группировки ЛПЧС производится запись введенных данных ДЛ ОУ РСЧС в отдельный файл, что позволит, при последующем решении часть исходных данных не вводить [12].

Человеко-машинный алгоритм выбора размещения элементов группировки ЛПЧС представлен на рис. 4.



**Рис. 4. Человеко-машинный алгоритм выбора размещения элементов группировки ЛПЧС**

Первый блок описывает процесс выбора ДЛ ОУ РСЧС проблемно-ориентированной модели местности (ПОММ) требуемого района из числа имеющихся. Если на АРМ имеется единственная ПОММ, тогда блок 1 не выполняется.

Второй блок предоставляет возможности ДЛ по вводу требуемой исходной информации для решения задачи (выбор района размещения элементов группировки ЛПЧС) и производит запуск на выполнение.

Третий блок проверяет корректность введенного запроса на решение задачи (выбор района размещения элементов группировки ЛПЧС). В случае обнаружения ошибки выдается

сообщение на АРМ ДЛ ОУ РСЧС, и переход осуществляется на блок 2, в противном случае на блок 4.

Четвертый блок по введенному запросу на решение задачи выполняет обращение к ПОММ и сканирует в соответствии с заданным сектором местность с целью выбора допустимых ЭУМ.

Пятый блок осуществляет проверку наличия ЭУМ в каждой зоне выбора. Если вся зона выбора местности проверена и допустимых ЭУМ не обнаружено, то выдается сообщение на ЭК АРМ ДЛ ОУ РСЧС и осуществляется переход на блок 4, в противном случае – на блок 6.

Шестой блок формирует множество допустимых ЭУМ в пределах зоны выбора.

Седьмой блок программно определяет завершение процесса выбора предпочтительного ЭУМ в зоне выбора и отображает его на ЭК АРМ ДЛ ОУ РСЧС.

Восьмой блок предоставляет возможность ДЛ ОУ РСЧС согласиться с предложенным вариантом программного выбора предпочтительного ЭУМ или осуществить принудительный выбор другого допустимого ЭУМ самому, в соответствии с возникшей служебной необходимостью, следовательно, осуществляется переход на блок 6.

Девятый блок осуществляет проверку удовлетворения ЭУМ заданным требованиям. Если ЭУМ удовлетворяет требованиям, то осуществляется переход на блок 10, в противном случае – на блок 6.

Десятый блок выполняет запись параметров ЭУМ.

Одиннадцатый блок записывает данные по ЭУМ каждого варианта в виде отдельных файлов с регистрацией в них данных по каждому рассчитываемому варианту [13].

Двенадцатый блок выдает запрос о выполнении следующего варианта расчета, и при положительном ответе ДЛ ОУ РСЧС осуществляет переход на блок 4, в противном случае – на блок 13.

Тринадцатый блок выбирает предпочтительный вариант местоположения элементов группировки ЛПЧС по значениям обобщенного показателя качества из множества существующих (сформированных ранее) вариантов и осуществляет переход на блок 14, в противном случае – на блок 11.

Четырнадцатый блок осуществляет чтение данных по ЭУМ, образующих предпочтительный вариант местоположения элементов группировки ЛПЧС из файла и осуществляет вывод результатов решения путем подсветки на ЭК АРМ ДЛ ОУ РСЧС с указанным набором расчетных данных.

Предполагалось, что последними двумя показателями определяется обоснованность решения задачи выбора местоположения элементов группировки сил ЛПЧС. Учитывалось, что основу разработанной методики составляет модель оценки свойств участков местности, а при оценке адекватности моделирования в геоинформатике принято рассматривать два вопроса:

– правильность представления цифровых структур, которые отражают реальный мир (оценка качества цифровых карт);

– оценка качества алгоритмов применения, которые используют цифровую картографическую информацию и позволяют рассчитать истинное значение результата.

Под качеством модели оценки свойств участков местности понимается совокупность свойств ЦК, отражающих ее пригодность удовлетворять установленные и предполагаемые потребности в соответствии с ее назначением. Основопологающими критериями качества являются: информативность, точность, полнота, корректная внутренняя структура.

Свойство «информативность» означает, что цифровая карта как физическое представление модели действительности должна обладать гносеологическими свойствами [14, 15]:

– содержательное соответствие (научно обоснованное отображение главных особенностей действительности);

– абстрактность (генерализация карты, переход от индивидуальных свойств к собирательным представлениям, отбор типичных характеристик объектов и устранение второстепенных);

– пространственно-временное подобие (геометрическое подобие размеров и форм

реальным объектам на местности, временное подобие и подобие отношений, связей между объектами);

– избирательность и синтетичность (раздельное представление совместно проявляющихся явлений и факторов).

Все вышеперечисленные свойства, непосредственным образом влияющие на качество завершённого продукта – ЦК, находят отражение в разработанной модели.

В соответствии с практикой ДЛ ОУ РСЧС, учений и оценок экспертного опроса специалистов, среднее время расчета  $\bar{t}_{opp}^p$  рекомендуемого района размещения группировки сил ЛПЧС ручным способом с применением ЭВМ (без использования специальных возможностей ГИС) составляет около 3 мин. Также необходимо учесть, что при ликвидации последствий ЧС с быстрой динамикой развития нужно спланировать не только основной район размещения группировки сил ЛПЧС. Приблизительно столько же времени понадобится для расчета резервного района. Кроме того, необходимо учесть выбор не менее двух запасных районов, что значительно увеличит временные затраты при существующих методиках расчета [16].

Использование возможностей разработанной модели местности (ЦКИ формата представления) и предлагаемой методики решения задач выбора местоположения элементов группировки сил ЛПЧС позволит повысить оперативность, обоснованность и достоверность принимаемых ДЛ решений.

Так, среднее время решения задач выбора местоположения элементов системы группировки сил ЛПЧС с использованием разработанной модели для аналогичных вариантов построения составляет 1,2 мин. Следовательно, повышение оперативности процесса планирования выбора местоположения элементов группировки сил ЛПЧС за счет использования предлагаемой методики определим, используя выражение:

$$\gamma_{opp}^o = \frac{\bar{t}_{opp}^p}{\bar{t}_{opp}} .$$

Подставляя полученные средние значения, получим, что применение разработанной методики позволяет повысить оперативность процесса планирования по соответствующим подзадачам в 1,25 раза [17].

Полученные результаты сравнительной оценки оперативности выбора местоположения элементов группировки сил ЛПЧС представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнительная оценка оперативности решения задачи выбора местоположения элементов группировки сил ЛПЧС**

| ручной<br>с применением ЭВМ | Способ решения   |   | Коэффициент<br>повышения<br>оперативности<br>решения |
|-----------------------------|--|---|--|
|                             | автоматизированный<br>с применением<br>геоинформационного<br>обеспечения | автоматизированный<br>с применением<br>разработанной модели<br>и методики |  |
| 3 мин                       | 1,5 мин  | 1,2 мин   | 1,25   |

Для оценки точности и полноты решения задачи был проведен натурный эксперимент методом экспертного опроса. В качестве экспертов привлекались ДЛ ОУ РСЧС, а также преподаватели Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Экспертам предлагалось решить задачу выбора местоположения элементов группировки сил ЛПЧС. Они несколько раз при решении задачи выбирали варианты 2, 7, 15, 24, 29 и 33.

Результаты обработки этих данных приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты сравнительной оценки точности решения задачи

| № варианта            | Количество решений | Значение обобщенного показателя | Отклонение от оптимального решения |               |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------|
|                       |                    |                                 | абсолютное                         | относительное |
| 2                     | 3                  | 99,83                           | 3,63                               | 3,51          |
| 7                     | 2                  | 95,32                           | 8,14                               | 7,87          |
| 15                    | 4                  | 100,10                          | 3,36                               | 3,25          |
| 24                    | 2                  | 93,43                           | 10,03                              | 9,69          |
| 29                    | 3                  | 101,57                          | 1,89                               | 1,83          |
| 33                    | 4                  | 100,21                          | 3,25                               | 3,14          |
| Обобщенный показатель |                    | 99,05                           | 4,41                               | 4,26          |

Таким образом, повышение точности решения задачи оценивается в 4,26 %.

Полнота решения задачи оценивалась следующим образом. Учитывалось, какое количество факторов, определяющих свойства участков местности, использовалось экспертами в эксперименте. Общее количество учитываемых факторов в предлагаемой методике равно  $3 + 9 + 4 + 4 = 20$ . Среднее число факторов, учитываемых экспертами, составило 13.

Оценка качества методики проводилась с использованием персонального компьютера со следующими основными характеристиками: процессор – AMD A9 9420, оперативная память – 8 Гбайт, объем внешней памяти – 1 Тбайт. Программный прототип задачи планирования разработан и функционирует под операционной системой Linux с использованием системы управления базами данных (СУБД) – PostgreSQL. В качестве исходных цифровых картографических данных использовались ЦК обменного формата «SXF» 1:500 000, 1:200 000 и 1:100 000 масштаба для Европейской территории России, полный перечень ЦК с оценкой пространственной сложности дорожной сети указанного региона. Применение разработанных предложений, основанных на применении современных геоинформационных технологий, позволяет повысить полноту (рис. 5) анализируемой исходной информации более чем на 30 %. Это происходит за счет учета всей совокупности воздействующих факторов – физико-географических (ФГУ), сезонных и метеорологических (СиМУ), оперативно-тактических (ОТИ) и внешних (ВФ), обусловленных видом ЧС, оказывающих существенное влияние на свойства участков местности. Наиболее существенный выигрыш осуществляется за счет учета данных физико-географических условий за счет автоматизированного анализа ЦКИ. Учет всех остальных факторов влияния повышается за счет использования данных, которые хранятся в СУБД.

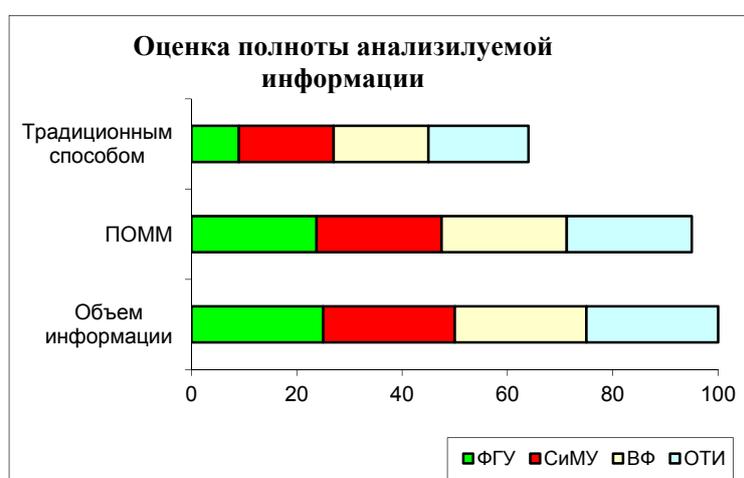


Рис. 5. Оценка полноты анализируемой исходной информации

Анализ точности планирования перемещения проводился с использованием ЦК различного масштаба: 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 и традиционных топографических карт.

## Заключение

Применение ЦКИ форматов представления позволяет повысить оперативность и обоснованность планирования элементов группировки сил ЛПЧС за счет более полного использования возможностей современного геоинформационного обеспечения при достаточной точности и удобстве представления картографической информации.

Весь перечень показателей для оценки свойств участков местности для геоинформационного обеспечения задач выбора местоположения элементов группировки сил ЛПЧС целесообразно разделить на четыре группы: «требуемые», «запретные», «мешающие» и «полезные» [18].

Участки местности по показателям  $P_1$  и  $P_2$  целесообразно оценивать с использованием булевой переменной. Тогда участок местности будет либо включен в дальнейшее рассмотрение (если  $P_{1j} \rightarrow \max$  и  $P_{2j} = 0$ ), либо его следует из рассмотрения исключить.

Оставшиеся для рассмотрения участки местности оцениваются с использованием показателей  $(P_{3j})$  и  $(P_{4j})$ . При этом, так как показатели независимы, для их обобщения целесообразно использовать аддитивную свертку.

Разработанная методика оценки свойств участков местности для геоинформационного обеспечения задач выбора местоположения элементов группировки сил ЛПЧС позволяет повысить качество принимаемых решений по организации ЛПЧС [14].

### Список источников

1. ГОСТ Р 52293–2004. Геоинформационное картографирование. Система электронных карт. Карты электронные топографические. Общие требования. М.: Изд-во Стандартов, 2005.
2. Кленина В.И., Павлов А.А. Информационные технологии управления // Ученые записки Российского государственного социального университета. 2011. № 9-1 (97). С. 193–203.
3. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: постановление Правительства Рос. Федерации от 30 дек. 2003 г. № 794. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
4. Бусленко Н.П. Метод статистического моделирования. М.: Статистика, 1970. 109 с.
5. О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах»: постановление Правительства Рос. Федерации от 30 марта 2018 г. № 377. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
6. ГОСТ Р ИСО 31000–2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. Risk management. Principles and guidelines // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (дата обращения: 14.04.2022).
7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
8. Трахтенгерц Э.А. Субъективность в стратегическом управлении // Человеческий фактор в управлении: сб. трудов. М.: КомКнига, 2006. С. 408–438.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. Risk management. Risk assessment techniques. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
10. О пожарной безопасности: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
11. О Порядке сбора и обмена в Российской Федерации информацией в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного

характера: постановление Правительства Рос. Федерации от 24 марта 1997 г. № 334. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

12. Заводсков Г.Н. Методика поддержки принятия решений должностных лиц по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта на основе реализации автоматизированных процедур воздействия // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 163–171.

13. Юркин М.А. Предупреждение чрезвычайных ситуаций с применением современных информационных технологий // Информационные технологии в сфере РСЧС и ГО: сб. трудов секции № 13 XXIX Междунар. науч.-практ. конф. «Предотвращение. Спасение. Помощь». 2019. С. 54–58.

14. Стратегическое управление аварийно-спасательными системами городов на основе информационных и компьютерных технологий / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Комплексная безопасность России – исследования, управление, опыт: Междунар. симпозиум. М.: ВНИИ ГОЧС, 2002. С. 148–149.

15. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

16. Флейшман Б.С. Системология, системотехника и инженерная экология // Кибернетика и ноосфера. М., 1986. 215 с.

17. Манин П.А., Таранцев А.А., Щербаков О.В. Моделирование работы центров обработки заявок в экстремальных условиях // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2013. № 4. С. 111–117.

18. Богданова Е.М., Максимов А.В., Матвеев А.В. Информационная система прогнозирования чрезвычайных ситуаций при использовании адаптивных моделей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 2. С. 65–70.

## References

1. GOST R 52293–2004. Geoinformacionnoe kartografirovaniye. Sistema elektronnyh kart. Karty elektronnye topograficheskie. Obshchie trebovaniya. M.: Izd-vo Standartov, 2005.

2. Klenina V.I., Pavlov A.A. Informacionnye tekhnologii upravleniya // Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo social'nogo universiteta. 2011. № 9-1 (97). S. 193–203.

3. O edinoj gosudarstvennoj sisteme preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 30 dek. 2003 g. № 794. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

4. Buslenko N.P. Metod statisticheskogo modelirovaniya. M.: Statistika, 1970. 109 s.

5. O vnesenii izmenenij v gosudarstvennyuyu programmuy Rossijskoj Federacii «Zashchita naseleniya i territorij ot chrezvychajnyh situacij, obespechenie pozharnoj bezopasnosti i bezopasnosti lyudej na vodnyh ob'ektah»: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 30 marta 2018 g. № 377. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

6. GOST R ISO 31000–2019. Menedzhment riska. Principy i rukovodstvo. Risk management. Principles and guidelines // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (data obrashcheniya: 14.04.2022).

7. Ob avarijno-spasatel'nyh sluzhbah i statuse spasatelej: Feder. zakon ot 22 avg. 1995 g. № 151-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

8. Trahtengerc E.A. Sub'ektivnost' v strategicheskom upravlenii // Chelovecheskij faktor v upravlenii: sb. trudov. M.: KomKniga, 2006. S. 408–438.

9. GOST R ISO/MEK 31010–2011. Menedzhment riska. Metody ocenki riska. Risk management. Risk assessment techniques. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

10. O pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 21 dek. 1994 g. № 69-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

11. O Poryadke sbora i obmena v Rossijskoj Federacii informaciej v oblasti zashchity naseleniya i territorij ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera:

postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 24 marta 1997 g. № 334. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

12. Zavodskov G.N. Metodika podderzhki prinyatiya reshenij dolzhnostnyh lic po predotvrashcheniyu i likvidacii chrezvychajnyh situacij na ob"ektah vodnogo transporta na osnove realizacii avtomatizirovannyh procedur vozdejstviya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 2. S. 163–171.

13. Yurkin M.A. Preduprezhdenie chrezvychajnyh situacij s primeneniem sovremennyh informacionnyh tekhnologij // Informacionnye tekhnologii v sfere RSCHS i GO: sb. trudov sekcii № 13 XXIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Predotvrashchenie. Spasenie. Pomoshch'». 2019. S. 54–58.

14. Strategicheskoe upravlenie avarijno-spatatel'nymi sistemami gorodov na osnove informacionnyh i komp'yuternyh tekhnologij / N.N. Brushlinskij [i dr.] // Kompleksnaya bezopasnost' Rossii – issledovaniya, upravlenie, opyt: Mezhdunar. simpozium. M.: VNII GOCHS, 2002. S. 148–149.

15. Matveev A.V. Metody` modelirovaniya i prognozirovaniya. SPB: Sankt-Peterburgskij universitet GPS MChS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

16. Flejshman B.S. Sistemologiya, sistemotekhnika i inzhenernaya ekologiya // Kibernetika i noosfera. M., 1986. 215 s.

17. Manin P.A., Tarancev A.A., Shcherbakov O.V. Modelirovanie raboty centrov obrabotki zayavok v ekstremal'nyh usloviyah // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2013. № 4. S. 111–117.

18. Bogdanova E.M., Maksimov A.V., Matveev A.V. Informacionnaya sistema prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij pri ispol'zovanii adaptivnyh modelej // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2019. № 2. S. 65–70.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 04.04.2024; одобрена после рецензирования: 01.05.2024; принята к публикации: 05.05.2024

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 04.04.2024; approved after review: 01.05.2024; accepted for publication: 05.05.2024

#### *Информация об авторах:*

**Белоуско Юрий Александрович**, заместитель начальника Главного управления МЧС России по Республике Мордовия (по защите, мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций) – начальник управления гражданской защиты (430031, г.о. Саранск, ул. Косарева, д. 40), e-mail: belousko.y@inbox.ru, SPIN-код: 2631-4020

#### *Information about authors:*

**Belousko Yuriy A.**, deputy head of the Main directorate of EMERCOM of Russia for the Republic of Mordovia (for protection, monitoring and forecasting of emergency situations) – head of the civil protection department (430031, Saransk, Kosareva str., 40), e-mail: belousko.y@inbox.ru, SPIN: 2631-4020