

УДК 681.3.01  
DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-1-5-17

**Г. Абдиева-Алиева**

*Министерство по чрезвычайным ситуациям  
Азербайджанской Республики  
ул. М. Мушвига, 501, Баку, AZ1073, Республика Азербайджан*

*gunayfh@gmail.com*

## **АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЗАЩИТОЙ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Исследуются процессы развития чрезвычайных ситуаций (ЧС) и формулируются задачи управления защитными мероприятиями. Уточняются исходные понятия, и разрабатывается общая классификация ЧС. Выделяются существенные, определяющие процессы проявления поражающих воздействий и выполнения защитных мероприятий. Для структуризации этих факторов и формулировки задач управления предлагается система показателей защиты, которые допускают оперативное измерение в реальных условиях.

*Ключевые слова:* математические модели, чрезвычайная ситуация, принятие решений, региональная защита, управление.

### **Введение**

В современных экономических условиях наблюдается рост конкуренции среди отраслей. Стремясь увеличить производство, многие предприятия пренебрегают соблюдением элементарной техники безопасности, что приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые сопряжены и с большими материальными потерями, и, к сожалению, с человеческими жертвами.

Используя постоянный контроль за всеми источниками повышенного риска, можно многократно уменьшить последствия ЧС. Для предупреждения аварийных ситуаций многие предприятия используют новейшие методы борьбы с ЧС. Самым эффективным в мировой практике является управление региональной защитой (РЗ). Эта программа соединяет в себе комплексное использование вычислительной техники, факторы автоматизации и связи, а также методы математического моделирования [1–8]. Чётко действуя по этой программе, можно свести потери во время ЧС к минимуму.

### **Классификация чрезвычайных ситуаций**

Поскольку разнообразие чрезвычайных ситуаций, которые уже проявились или могут проявиться, весьма велико, используем для их классификации общие причинно-следственные и пространственно-временные признаки.

По причине возникновения ( $V$ ) различаются ЧС техногенного, природного, экологического, социального и военного происхождения.

Техногенные источники  $V_1$  проявляются в виде аварий на производственных объектах, продукция или технологические процессы которых связаны с использованием высокого

*Абдиева-Алиева Г. А. Анализ управления региональной защитой в чрезвычайных ситуациях // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. 2018. Т. 16, № 1. С. 5–17.*

давления, легковоспламеняющихся или агрессивных веществ. Выделяются следующие виды аварий:

$V_1^1$  – на химически, радиационно и биологически опасных производствах при повреждении технологического оборудования, неисправностях в системе запуска и отключения, ошибках обслуживающего персонала;

$V_1^2$  – на железнодорожном, автомобильном, воздушном, водном и трубопроводном транспорте при повреждении емкостей для перевозки опасных веществ или нарушении правил транспортировки;

$V_1^3$  – на газо-, электро-, тепло-, водо- и канализационных сетях при их повреждении или разрушении;

$V_1^4$  – на гидродинамических сооружениях при прорыве напорных плотин, защитных дамб или отстойников;

$V_1^5$  – на строительных объектах при обрушении производственных или жилых зданий, железно- и автодорожных мостов.

Природные источники  $V_2$  обусловлены разрушительными стихийными явлениями, среди которых выделяются:

$V_2^1$  – геологические в виде землетрясений, оползней, селей, обвалов, лавин и камнепадов;

$V_2^2$  – гидрометеорологические в виде снегопадов, ливней, паводков и наводнений;

$V_2^3$  – агрометеорологические в виде циклонов, ураганов, смерчей, заморозков, засухи;

$V_2^4$  – гелиофизические в виде природных пожаров, включая лесные, степные, торфяные и подземные;

$V_2^5$  – астрофизические в виде опасных космических излучений, а также гравитационных, магнитных и электромагнитных возмущений, вызываемых различными космическими объектами.

Экологические источники  $V_3$  возникают в результате чрезмерной антропогенной нагрузки на окружающую среду. Среди них выделяются:

$V_3^1$  – в литосфере при аномальном изменении и деградации почв, недр и лесов;

$V_3^2$  – в гидросфере при загрязнении, заболачивании, обмелении и пересыхании водоемов, рек и озер;

$V_3^3$  – в атмосфере при уменьшении содержания озона, превышении допустимой концентрации опасных веществ, глобальных климатических изменениях;

$V_3^4$  – в биосфере при уменьшении биопродуктивности, генетических мутациях, эпидемиях, эпизоотиях и эпизоотиях;

$V_3^5$  – в экосфере в целом.

Социальные источники  $V_4$  являются результатом взаимовлияния экономических, политических, психологических и других факторов и предпосылок. Среди крайних проявлений социальных конфликтов выделяются:

$V_4^1$  – забастовки;

$V_4^2$  – саботаж;

$V_4^3$  – террористические акты;

$V_4^4$  – диверсионные акты;

$V_4^5$  – массовые психические заболевания.

Военные источники  $V_5$  связаны с использованием средств вооруженного противоборства при пограничных конфликтах и в локальных войнах, а также в стратегических планах глобальной конфронтации. Среди этих средств выделяются:

$V_5^1$  – обычное высокоточное оружие;

$V_5^2$  – боеприпасы объемного взрыва, зажигательные, фугасные, осколочные, шариковые, кумулятивные и бетонобойные;

$V_5^3$  – ядерное оружие;

$V_5^4$  – химическое оружие;

$V_5^5$  – бактериологическое оружие.

В общем случае возможно взаимно обусловленное комбинированное проявление различных источников поражающих воздействий.

По неблагоприятным последствиям ( $X$ ) различаются ЧС, приводящие к потерям среди населения, к ущербу народнохозяйственным объектам и к поражению окружающей природной среды. Выделение среди них тех или иных видов зависит от характера поведения указанных объектов в условиях возможных или реальных поражающих воздействий.

По рассматриваемому признаку среди населения  $X_1$  выделяются:

$X_1^1$  – нетрудоспособное население, включая детей, стариков и стационарных больных;

$X_1^2$  – трудоспособное население, включая работников производственной сферы и сферы обслуживания;

$X_1^3$  – подготовленное население, включая подразделение гражданской обороны.

Среди объектов народного хозяйства  $X_2$  можно выделить следующие:

$X_2^1$  – объекты производственной сферы, ресурсы которых могут быть использованы для выполнения защитных мероприятий;

$X_2^2$  – объекты сферы обслуживания, ресурсы которых могут быть использованы для жизнеобеспечения населения;

$X_2^3$  – исторические памятники и произведения искусства, ценную научно-техническую документацию и оборудование.

В окружающей природной среде  $X_3$  выделяются:

$X_3^1$  – представители животного мира (фауна);

$X_3^2$  – представители растительного мира (флора);

$X_3^3$  – водоисточники, полезные ископаемые.

По обеспечению защиты ( $Z$ ) от неблагоприятных последствий различаются ЧС, характеризующиеся использованием разведывательно-контролирующих, инженерно-технических, медико-биологических, эвакуационных и материально-продовольственных ресурсов. Среди этих ресурсов выделяются в зависимости от их целевого назначения различные виды подразделений, которые реализуют необходимые защитные мероприятия.

Разведывательно-контролирующие ресурсы  $Z_1$  предназначены для ведения разведки и контроля за изменением обстановки в зонах возможного или реального проявления поражающих воздействий. Эти цели достигаются с помощью подразделений:

$Z_1^1$  – инженерной разведки для выявления границ и степени разрушения жилых зданий и производственных сооружений, обнаружения вторичных источников поражающих воздействий, определения мест нахождения пострадавших и подходов к ним;

$Z_1^2$  – химической разведки для выявления границ химического заражения, определения концентрации ядовитых веществ и направления распространения зараженного воздуха, наблюдения и лабораторного контроля за изменением химической обстановки;

$Z_1^3$  – радиационной разведки для выявления границ и уровней радиоактивного загрязнения, установления режимов радиационной защиты, наблюдения и дозиметрического контроля за изменением радиационной обстановки;

$Z_1^4$  – медицинской разведки для выявления пострадавших людей, определения их состояния и условий оказания первой медицинской и врачебной помощи;

$Z_1^5$  – ветеринарной и агротехнической разведки для выявления пострадавших животных и растений, определения их состояния и условий оказания ветеринарной и агротехнической помощи.

Инженерно-технические ресурсы  $Z_2$  необходимы для уменьшения ущерба народнохозяйственным объектам. Указанные цели реализуют подразделения:

$Z_2^1$  – инженерной защиты для повышения физической устойчивости жилых зданий и производственных сооружений, строительства и обслуживания защитных сооружений, расчистки проходов и разработки завалов в зонах разрушений, извлечения пострадавших из-под завалов, обустройства подъездных путей и маршрутов эвакуации;

$Z_2^2$  – химической защиты для обеспечения населения индивидуальными средствами защиты, локализации очагов выброса и обваловки мест разлива ядовитых веществ, дегазации прилегающей местности, помещений, оборудования, одежды и продуктов питания;

$Z_2^3$  – радиационной защиты для обеспечения населения противорадиационными укрытиями и организации йодной профилактики, сбора и захоронения опасных радиоактивных осколков, дезактивации прилегающей местности;

$Z_2^4$  – пожарной защиты для обеспечения объектов народного хозяйства средствами автоматической сигнализации и пожаротушения, локализации и ликвидации пожаров в жилых зданиях и в производственных сооружениях, извлечения людей из горящих помещений, борьбы с лесными, степными, торфяными и подземными пожарами;

$Z_2^5$  – технической защиты для повышения безопасности технологического оборудования с помощью средств автоматического контроля и отключения, выполнения профилактических и ремонтно-восстановительных работ на коммунально-энергетических сетях, а также для ремонта транспортной, инженерной, противопожарной и другой техники.

Медико-биологические ресурсы  $Z_3$  требуются для уменьшения потерь населения, животных и растений (защита биосферы). Эти цели обеспечивают подразделения:

$Z_3^1$  – медицинской защиты для оказания первой медицинской и врачебной помощи пострадавшим непосредственно в зонах поражения, погрузки их на транспорт и сопровождения при эвакуации;

$Z_3^2$  – врачебной защиты для оказания специализированной медицинской помощи и стационарного лечения пострадавших за пределами зон поражения в клиниках, больницах и госпиталях;

$Z_3^3$  – эпидемиологической защиты для санитарной очистки зон поражения, контроля за санитарно-гигиеническим состоянием прилегающей местности, профилактики и лечения инфекционных заболеваний среди населения;

$Z_3^4$  – ветеринарной защиты для санитарной обработки и лечения животных, локализации и ликвидации эпизоотий;

$Z_3^5$  – агротехнической защиты для обеззараживания растений и фуража, локализации и ликвидации эпифитий.

Эвакотранспортные ресурсы  $Z_4$  обеспечивают перемещение объектов био- и техносферы внутри и вне зон поражения с помощью железнодорожного, автомобильного, воздушного, речного и морского транспорта. Указанные цели осуществляют подразделения:

$Z_4^1$  – обеспечения эвакуации пострадавших;

$Z_4^2$  – обеспечения транспортировки подразделений;

$Z_4^3$  – обеспечения подвоза материально-технических средств;

$Z_4^4$  – обеспечения подвоза воды, продуктов питания и предметов первой необходимости;

$Z_4^5$  – обеспечения эвакуации уникального оборудования и культурных ценностей.

Материально-продовольственные ресурсы  $Z_5$  обеспечивают процессы выполнения защиты мероприятий необходимыми материалами и средствами. Эти цели реализуют подразделения:

$Z_5^1$  – материального обеспечения для хранения и распределения строительных, дегазационных, медицинских и других материалов и средств;

$Z_5^2$  – энергообеспечения для заправки транспорта горюче-смазочными материалами, подзарядки и замены аккумуляторных батарей, организации автономного электроснабжения;

$Z_5^3$  – коммунального обеспечения для расселения и коммунально-бытового обслуживания эвакуированного населения;

$Z_5^4$  – вещевого обеспечения для хранения и распределения спецодежды среди личного состава подразделений и предметов первой необходимости среди эвакуированного населения;

$Z_5^5$  – продовольственного обеспечения для хранения и распределения продуктов питания среди подразделений и населения.

По пространственному признаку ( $S$ ) различаются ЧС в зависимости от масштабов неблагоприятных последствий:

$S_1$  – локальные в пределах производственного участка, предприятия или микрорайона в городе;

$S_2$  – местные в пределах городского района или города;

$S_3$  – региональные в пределах района в области, нескольких сопредельных районов или всей области;

$S_4$  – национальные в пределах нескольких сопредельных областей или всего государства;

$S_5$  – глобальные в пределах нескольких сопредельных государств или континентов.

По временному признаку ( $T$ ) различаются ЧС в зависимости от периода и динамики проявления поражающих воздействий и выполнения защитных мероприятий:

$T_1$  – угрожаемые в период возможного проявления поражающих воздействий и выполнения предупредительных мероприятий;

$T_2$  – кризисные в период первичного проявления поражающих воздействий и выполнения спасательных мероприятий;

$T_3$  – после кризисные в период вторичного проявления поражающих воздействий и выполнения восстановительных мероприятий.

Таким образом, рассматриваемые ЧС характеризуются следующей совокупностью  $\Sigma$  открытых классификационных группировок:

$$\Sigma = (V, X, Z, S, T),$$

где

$$V = \bigcup_{\gamma} \bigcup_{\rho} V_{\gamma}^{\rho}, \quad X = \bigcup_{\alpha} \bigcup_{\alpha} X_{\alpha}^{\alpha}, \quad Z = \bigcup_{\beta} \bigcup_{\psi} Z_{\beta}^{\psi}, \quad S = \bigcup_i S_i, \quad T = \bigcup_j T_j.$$

Далее, не ограничивая общности рассмотрения, исследуем причинно-следственные связи между источниками поражающих воздействий, объектами поражения и защиты и ресурсами защитных мероприятий в ЧС регионального уровня.

### Описание региона как объекта управления в чрезвычайных ситуациях

Функционирование региона в чрезвычайных ситуациях рассматривается как процесс последовательно-параллельного изменения состояний региональных компонентов. Поэтому его можно представить в виде формальной системы:

$$\Sigma = (T, X, U, Y, H, G), \quad (1)$$

где  $T$  – множество компонентов времени;  $X$  – множество состояний системы;  $U$  – множество допустимых входных воздействий;  $Y$  – множество выходных величин;  $H: T \times X \times U \rightarrow X$  – оператор переходов системы,  $G: T \times X \times U \rightarrow Y$  – оператор выходов системы. Множество моментов времени  $T$ , на котором рассматривается функционирование региональной системы, задается упорядоченным подмножеством множества вещественных чисел. В любой момент времени  $t \in T$  состояние системы  $X_t \in X$  представляется вектором состояний объектов поражения и защиты:

$$X_t = (X_{1t}, \dots, X_{at}, \dots, X_{nt}).$$

Множество альтернативных состояний каждого объекта  $X_{at}$  на интервале времени  $T$  обозначим  $X_{aT}$ . Пространством состояний (или фазовым пространством) системы является прямое произведение:

$$X_T = X_{1T} \times \dots \times X_{aT} \times \dots \times X_{nT}.$$

Множество допустимых входных воздействий  $U$  естественно разбивается на два непересекающихся подмножества: защитных мероприятий  $M$  и поражающих воздействий  $W$ . При этом допустимые защитные мероприятия характеризуются возможными состояниями привлекаемых ресурсов  $Z$ , а допустимые поражающие воздействия – возможными состояниями выявленных источников  $V$ .

Защитные мероприятия могут выполняться в любой момент времени  $t \in T$  ресурсами  $Z_t \in Z$ , которые образуют вектор

$$Z_t = (Z_{1t}, \dots, Z_{\beta t}, \dots, Z_{mt}).$$

Обозначим  $Z_{\beta T}$  множество альтернативных состояний каждого ресурса  $Z_{\beta t}$  на интервале  $T$ . Тогда прямое произведение

$$Z_T = Z_{1T} \times \dots \times Z_{\beta T} \times \dots \times Z_{mT}$$

представляет пространство защитных мероприятий.

Поражающие воздействия также могут проявляться в любой момент времени  $t \in T$  от источников  $V_t \in V$ , образующих вектор

$$V_t = (V_{1t}, \dots, V_{\gamma t}, \dots, V_{qt}).$$

Пространство поражающих воздействий представляется прямым произведением:

$$V_T = V_{1T} \times \dots \times V_{\gamma T} \times \dots \times V_{qT},$$

где  $V_{\gamma T}$  – множество альтернативных состояний каждого источника  $V_{\gamma t}$  на интервале  $T$ .

Выходные величины  $Y_t \in Y$ , характеризующие функционирование системы в любой момент времени  $t \in T$ , образуют вектор характеристик

$$Y_t = (Y_{1t}, \dots, Y_{jt}, \dots, Y_{pt}).$$

Если  $Y_{jT}$  – множество различных значений каждой характеристики на интервале  $T$ , то прямое произведение называется пространством выходных величин:

$$Y_T = Y_{1T} \times \dots \times Y_{jT} \times \dots \times Y_{pT}.$$

Оператор переходов  $M$  определяет траекторию движения систем в фазовом пространстве  $X_T$  в зависимости от входных воздействий  $M$  и  $W$ , т. е.  $H = M \times W$ . Указанные воздействия разнонаправлены. Поэтому в пространстве  $X_T$  различаются две области: желательных  $X_T^\xi$  и нежелательных  $X_T^\omega$  состояний. Область  $X_T^\xi$  образуется при движении системы в пространстве защитных мероприятий:

$$M : X_T \times Z_T \rightarrow X_T^\xi,$$

а область  $X_T^\omega$  – при движении системы в пространстве поражающих воздействий:

$$W : X_T \times V_T \rightarrow X_T^\omega.$$

Целенаправленное функционирование системы происходит при выполнении защитных мероприятий, которые удерживают или переводят систему в область желательных состояний, противодействуя тем самым ее нахождению или переходу в область нежелательных состояний. Для эффективного управления указанными процессами необходимо предвидеть нежелательные переходы и с упреждением выполнять адекватные защитные мероприятия. Отсюда следует, что оператор  $M$ , управляющий на интервале  $T$  переходами системы в желательные состояния  $X_T^\xi$ , должен строиться на основе предвидения возможных ее переходов в этом же интервале времени в нежелательные состояния  $X_T^\omega$  от ожидаемых источников  $V_T$ :

$$M : X_T^{\omega} \times Z_T \times V_T \rightarrow X_T^{\xi}.$$

Оператор  $M$  в представлении реализуется как логически взаимоувязанная система защитных мероприятий, выполняемых ресурсами  $Z_T$ . Управление этими мероприятиями (ресурсами) должно формировать такую траекторию движения системы, которая обеспечивает достижение ее целевого состояния  $X_T^{\xi}$  на ограниченном интервале  $T$ .

Эффективность управления региональной защитой (РЗ), характеризуемая оператором  $M$ , зависит от умения упреждающе противодействовать или компенсировать ожидаемые поражающие воздействия от источников  $V_T$  рациональным выбором или распределением ресурсов защитных мероприятий по объектам возможного поражения  $X_T^{\omega}$  на интервале предвидения  $T$ . Общим критерием эффективности управления РЗ является оценка степени достижения системой целевого состояния  $X_T^{\xi}$  в пределах ограниченного интервала  $T$ . Эта оценка производится на основе выходных величин  $Y_T$ , характеризующих функционирование системы на рассматриваемом интервале времени. Учитывая, что в представлении (1) оператор выходов  $G$  и оператор переходов  $H$  имеют одну и ту же область определения, выходные величины могут выражаться в терминах состояний объектов  $X_T$ , ресурсов  $Z_T$  и источников  $V_T$ . Соответственно в пространстве выходных величин  $Y_T$  можно различить область характеристик желательного функционирования системы  $Y_T^{\xi} = (Z_T, X_T^{\xi})$  и область характеристик нежелательного ее функционирования  $Y_T^{\omega} = (V_T, X_T^{\omega})$ . Указанные выходные величины (характеристики) рассматриваются в каждый момент времени  $t \in T$  как координаты соответствующих векторов  $X_t, Z_t$  и  $V_t$ . Практическое измерение этих характеристик для оценки эффективности управления РЗ возможно с помощью показателей, рассмотренных выше при построении событийной модели развития ЧС. Различные значения этих показателей характеризуют те или иные состояния региональных компонентов, а общим критерием эффективности управления РЗ выступает обеспеченность объектов поражения и защиты ресурсами защитных мероприятий, которые необходимы для противодействия неблагоприятной среде.

Поскольку указанные показатели и их значения существенно зависят от периода развития ЧС, разобьем множество моментов времени  $T = [t_0, t_N]$  на следующие подмножества:  $[t_1, t_u] \in T_u$  – угрожаемый период,  $[t_2, t_k] \in T_k$  – кризисный период,  $[t_3, t_p] \in T_p$  – послекризисный период, где

$$T_u \cup T_k \cup T_p \in T; \quad t_0 \leq t_1 < t_u \leq t_2 < t_k \leq t_3 < t_p \leq t_N.$$

Используя введенные понятия и обозначения, можно представить показатели состояний региональных компонентов следующими векторами:

а) показатели желательных состояний ресурсов

$$Z_T = (Z_{Tu}^{\Psi}, Z_{Tk}^{\sigma}, Z_{Tp}^{\theta}),$$

где

$$Z_{Tu}^{\Psi} = \bigcup_{\beta} Z_{\beta Tu}^{\Psi}; \quad Z_{Tk}^{\sigma} = \bigcup_{\beta} Z_{\beta Tk}^{\sigma}; \quad Z_{Tp}^{\theta} = \bigcup_{\beta} Z_{\beta Tp}^{\theta};$$

объектов

$$X_T^{\xi} = (X_{Tu}^{\Psi}, X_{Tk}^{\sigma}, X_{Tp}^{\theta}),$$

где

$$X_{Tu}^{\Psi} = \bigcup_{\alpha} \bigcup_{\nu} X_{\alpha Tu}^{\Psi\nu}; \quad X_{Tk}^{\sigma} = \bigcup_{\alpha} \bigcup_{\nu} X_{\alpha Tk}^{\sigma\nu}; \quad X_{Tp}^{\theta} = \bigcup_{\alpha} \bigcup_{\nu} X_{\alpha Tp}^{\theta\nu};$$

б) показатели нежелательных состояний источников

$$V_T = (V_{Tu}^{\rho}, V_{Tk}^{\pi}, V_{Tp}^{\delta}),$$

где

$$V_{Tu}^{\rho} = \bigcup_{\gamma} V_{\gamma Tu}^{\rho}; \quad V_{Tk}^{\pi} = \bigcup_{\gamma} V_{\gamma Tk}^{\pi}; \quad V_{Tp}^{\delta} = \bigcup_{\gamma} V_{\gamma Tp}^{\delta};$$

объектов

$$X_T^\omega = (X_{T_u}^\rho, X_{T_k}^\pi, X_{T_p}^\delta),$$

где

$$X_{T_u}^\rho = \bigcup_{\alpha} \bigcup_{\alpha} X_{\alpha T_u}^{\rho \alpha}; \quad X_{T_k}^\pi = \bigcup_{\alpha} \bigcup_{\alpha} X_{\alpha T_k}^{\pi \alpha}; \quad X_{T_p}^\delta = \bigcup_{\alpha} \bigcup_{\alpha} X_{\alpha T_p}^{\delta \alpha}.$$

Повышение эффективности управления РЗ проявляется в уменьшении значений показателей нежелательных состояний за счет увеличения значений показателей желательных состояний. В соответствии с событийной моделью развития ЧС общий целевой показатель  $\max X_T^\xi$  достигается последовательно путем реализации промежуточных целевых показателей состояний региональных компонентов в угрожаемый, кризисный и послекризисный периоды.

Вышеизложенное позволяет расчлнить общую задачу управления РЗ по выделенным периодам развития ЧС на три основные задачи:

1) в угрожаемый период – при заданном начальном состоянии объектов  $X_{\alpha t_0}$ , предупредительности ресурсов  $Z_{\beta t_1}^\Psi$  и угрожаемости источников  $V_{\gamma t_1}^\rho$  определить на ограниченном интервале времени  $[t_1, t_u] \in T_u$  такой вектор ресурсов  $Z_{\beta[t_1, t_u]}^\Psi$ , который обеспечивает объектам  $X_{\alpha[t_1, t_u]}^\rho$ , находящимся в зонах риска  $V_{\gamma[t_1, t_u]}^\rho$ , максимальную сопротивляемость:

$$\begin{aligned} \max \{ X_{\alpha[t_1, t_u]}^\Psi = M^\Psi (X_{\alpha t_0}, X_{\alpha[t_1, t_u]}^\rho, Z_{\beta[t_1, t_u]}^\Psi, V_{\gamma[t_1, t_u]}^\rho) \Big| Z_{\beta[t_1, t_u]}^\Psi \in Z_{\beta t_1}^\Psi \\ X_{\alpha[t_1, t_u]}^\rho = W^\rho (X_{\alpha t_0}, V_{\gamma[t_1, t_u]}^\rho); \\ X_{\alpha[t_1, t_u]}^\rho \in X_{T_u}^\rho; \quad V_{\gamma[t_1, t_u]}^\rho \in V_{T_u}^\rho \}; \end{aligned}$$

2) в кризисный период – при заданной начальной сопротивляемости объектов  $X_{\alpha t_u}^\Psi$ , спасательности ресурсов  $Z_{\beta t_2}^\sigma$  и критичности источников  $V_{\gamma t_2}^\pi$  определить на ограниченном интервале времени  $[t_2, t_k] \in T_k$  такой вектор ресурсов  $Z_{\beta[t_2, t_k]}^\sigma$ , который обеспечивает объектам  $X_{\alpha[t_2, t_k]}^\pi$ , попадающим в зоны поражения  $V_{\gamma[t_2, t_k]}^\pi$ , максимальную выживаемость:

$$\begin{aligned} \max \{ X_{\alpha[t_2, t_k]}^\sigma = M^\sigma (X_{\alpha t_u}^\Psi, X_{\alpha[t_2, t_k]}^\pi, Z_{\beta[t_2, t_k]}^\sigma, V_{\gamma[t_2, t_k]}^\pi) \Big| Z_{\beta[t_2, t_k]}^\sigma \in Z_{\beta t_2}^\sigma \\ X_{\alpha[t_2, t_k]}^\pi = W^\pi (X_{\alpha t_u}^\Psi, V_{\gamma[t_2, t_k]}^\pi); \\ X_{\alpha[t_2, t_k]}^\pi \in X_{T_k}^\pi; \quad V_{\gamma[t_2, t_k]}^\pi \in V_{T_k}^\pi \}; \end{aligned}$$

3) в послекризисный период – при заданной начальной выживаемости объектов  $X_{\alpha t_k}^\sigma$ , восстановительности ресурсов  $Z_{\beta t_3}^\theta$  и послекритичности источников  $V_{\gamma t_3}^\delta$  определить на ограниченном интервале времени  $[t_3, t_p] \in T_p$  такой вектор ресурсов  $Z_{\beta[t_3, t_p]}^\theta$ , который обеспечивает объектам  $X_{\alpha[t_3, t_p]}^\delta$ , находящимся в зонах последствия  $V_{\gamma[t_3, t_p]}^\delta$ , максимальную реабилитируемость:

$$\begin{aligned} \max \{ X_{\alpha[t_3, t_p]}^\theta = M^\theta (X_{\alpha t_k}^\sigma, X_{\alpha[t_3, t_p]}^\delta, Z_{\beta[t_3, t_p]}^\theta, V_{\gamma[t_3, t_p]}^\delta) \Big| Z_{\beta[t_3, t_p]}^\theta \in Z_{\beta t_3}^\theta \\ X_{\alpha[t_3, t_p]}^\delta = W^\delta (X_{\alpha t_k}^\sigma, V_{\gamma[t_3, t_p]}^\delta); \\ X_{\alpha[t_3, t_p]}^\delta \in X_{T_p}^\delta; \quad V_{\gamma[t_3, t_p]}^\delta \in V_{T_p}^\delta \}. \end{aligned}$$

В реальных условиях непосредственное и точное решение сформулированных задач существенно затрудняется следующими обстоятельствами:

- быстро изменяющаяся обстановка требует оперативного перераспределения (маневра) ограниченных сил и средств в каждом периоде развития ЧС;

- различная ведомственная соподчиненность специализированных подразделений приводит к необходимости непрерывного вертикального и горизонтального согласования многочисленных служб и органов, осуществляющих управление региональной защитой по ходу изменения обстановки;
- отсутствие современной, достоверной и полной информации о складывающейся обстановке осложняет подготовку оперативных и обоснованных решений по адекватному противодействию неблагоприятной среде.

### Периоды и циклы управления

Информационные процессы в указанных выше контурах периодически инициируются сообщениями из точек контроля текущего состояния региональных компонентов. Каждый информационный цикл в любом контуре включает последовательные этапы сбора, обработки и выдачи управленческих данных. На самом нижнем уровне этап сбора связан с измерением текущего состояния исполнительных элементов, передачей и приемом этих данных вышестоящим органом управления. На этапе обработки принятых данных вначале решаются задачи самоуправления, результаты решений передаются вверх, а также используются тем же органом для решения внутренних задач координации. Результаты последних выдаются на исполнительные элементы для непосредственной реализации.

В вышестоящих подсистемах этап сбора связан лишь с приемом сообщений о состоянии подведомственных подсистем, в котором они находились в момент контроля. Принятые сообщения используются в управляющих подсистемах для решения своих задач самоуправления и координации. При этом результаты задач самоуправления выдаются на подсистемы более высокого уровня, а результаты задач координации – на подведомственные подсистемы.

Для выработки согласованных упреждающих решений в рассматриваемой иерархии подсистем необходимо выполнять следующие условия:

- каждый цикл расчетов по корректировке траектории движения подсистемы на оставшемся интервале времени осуществляется в предыдущем интервале и по продолжительности не превышает этот интервал;
- каждый этап выдачи подсистемой результатов задач самоуправления происходит одновременно с этапом сбора этих данных в вышестоящей подсистеме;
- каждый этап выдачи подсистемой результатов задач координации и происходит одновременно с этапом сбора этих данных в подведомственных подсистемах.

Цикличность рассматриваемых процессов обуславливает разбиение непрерывной оси времени  $T$  на конечные интервалы, соответствующие периодам выработки реализации управленческих решений, не обязательно равные между собой. Изменение состояний региональных компонентов рассматривается в дискретные моменты времени, являющиеся точками на числовой прямой  $T$ . Пусть  $t_j \in T$  – момент окончания выполнения защитных мероприятий в  $j-1$ -ю смену, совпадающий с началом выполнения мероприятий в следующую  $j$ -ю смену. Обозначим  $\tau_j = t_{j+1} - t_j$  продолжительность  $j$ -й смены. Допустим также, что в  $\mu$  мини-регионе на выполнение мероприятий  $j$ -й смены привлекаются его внутренние ресурсы,  $j+1$ -й смены – свободные ресурсы  $\eta$  региона и  $j+2$ -й смены – свободные ресурсы макрорегиона. Если  $t'_j$  – момент контроля предшествующего состояния региональных компонентов ( $t_{j-1} < t'_j < t_j$ ) и  $\tau_\mu, \tau_\eta, \tau_\chi$  – продолжительность одного информационного цикла выработки управляющих воздействий соответственно на  $\mu, \eta, \chi$  уровнях управления ( $\tau_\mu < \tau_\eta < \tau_\chi$ ), то для синхронной подготовки и реализации указанных воздействий должны выполняться следующие ограничения:

$$\begin{aligned} \tau_\mu &< (t_j - t'_j); \quad \tau_\mu + \tau_\eta < (t_j - t'_j) + \tau_j; \\ \tau_\mu + \tau_\eta + \tau_\chi &< (t_j - t'_j) + \tau_j + \tau_{j+1}. \end{aligned}$$

Эти ограничения определяют выбор точек контроля текущего состояния региональных компонентов, а также интервалы времени для межуровневого взаимодействия подсистем на этапах сбора донесений и выдачи распоряжений.

### Функции и задачи управления

Заложенный в систему принцип прогнозного управления по промежуточным целям реализуется путем периодической корректировки защитных мероприятий в зависимости от текущего, возможного и требуемого состояний региональных компонентов. С этой целью в каждом управленческом цикле выполняется определенная последовательность функций управления:  $Y$  – учет текущего состояния объектов  $X_\eta$ , ресурсов  $Z_\eta$  и источников  $V_\eta$ ;  $G$  – прогнозирование возможного состояния объектов  $\check{X}_\eta$ , ресурсов  $\check{Z}_\eta$  и источников  $\check{V}_\eta$ , включая внешние  $\check{V}_{\chi\eta}$ ;  $Q$  – планирование требуемого состояния ресурсов  $\check{Z}_\eta$ ;  $A$  – анализ рассогласования требуемого состояния ресурсов  $\check{Z}_\eta$ ;  $R$  – регулирование критических ресурсов  $\check{Z}_\eta$ , включая свободные внешние  $\check{Z}_{\chi\eta}$ . Применительно к ситуациям кризисного периода задача оперативного управления РЗ подразделяется так: для каждого  $\mu$  мини-региона, принадлежащего  $\eta$  региону в макрорегионе, при заданной начальной сопротивляемости объектов  $X_{\alpha\mu i}^\sigma$ , самовыручка внутренних ресурсов  $Z_{\beta\mu i}^\sigma$  и свободных внешних  $\hat{Z}_{\beta\chi\eta i}^\sigma$ , критичности внутренних источников  $V_{\gamma\mu i}^\pi$  и возможных внешних  $\check{V}_{\gamma\chi\eta i}^\pi$ ; на ограниченном интервале времени  $\tau = t_k - t_i$ , где  $t_2 < t_i < t_k$ , такой вектор ресурсов  $\hat{Z}_{\beta\mu i}^\sigma$ , который обеспечивает минимальное отклонение требуемого объема спасательных мероприятий  $\hat{Z}_{\beta\mu i}^\sigma$  от возможного  $\check{Z}_{\beta\mu i}^\sigma$  для объектов  $\check{X}_{\alpha\mu i}^\pi$ , попадающих в зоны поражения  $\check{V}_{\gamma\mu i}^\pi$ :

$$\begin{aligned} \min \{ & \check{Z}_{\beta\mu i}^\sigma = M^\sigma(X_{\alpha\mu i}^\sigma, \check{X}_{\alpha\mu i}^\pi, \hat{Z}_{\beta\mu i}^\sigma, \hat{Z}_{\beta\chi\eta i}^\sigma \in Z_{\chi T_k}^\sigma, \\ & Z_{\beta\mu i}^\sigma, \check{Z}_{\beta\mu i}^\sigma, \hat{Z}_{\beta\mu i}^\sigma, \hat{Z}_{\beta\chi\eta i}^\sigma, C, V_{\gamma\mu i}^\pi, \\ & \check{V}_{\gamma\chi\eta i}^\pi, C) \mid \check{X}_{\alpha\mu i}^\pi \in X_{\mu T_k}^\pi; Z_{\beta\mu i}^\sigma, \hat{Z}_{\beta\mu i}^\sigma, \\ & \hat{Z}_{\beta\chi\eta i}^\sigma \in Z_{\chi T_k}^\sigma; \check{V}_{\gamma\mu i}^\pi, \check{V}_{\gamma\chi\eta i}^\pi \in V_{\chi T_k}^\pi \}. \end{aligned}$$

Формулировка задач оперативного управления РЗ для других периодов осуществляется в терминах их показателей аналогично, и особых затруднений не вызывает. Для сформулированной выше задачи контур оперативного управления включает следующие функциональные задачи:

1) учет текущего состояния региональных компонентов

$$\begin{aligned} X_{\alpha\eta i}^\sigma &= Y^\sigma(X_{\alpha_1 i}^\sigma, X_{\alpha_2 i}^\sigma, \dots, X_{\alpha_r i}^\sigma) = \bigcup_{\mu=1}^r X_{\alpha\mu i}^\sigma; Z_{\beta\eta i}^\sigma = Y^\sigma(Z_{\beta_1 i}^\sigma, Z_{\beta_2 i}^\sigma, \dots, Z_{\beta_r i}^\sigma) = \bigcup_{\mu=1}^r Z_{\beta\mu i}^\sigma; \\ V_{\gamma\eta i}^\pi &= Y^\pi(V_{\gamma_1 i}^\pi, V_{\gamma_2 i}^\pi, \dots, V_{\gamma_r i}^\pi) = \bigcup_{\mu=1}^r V_{\gamma\mu i}^\pi; \end{aligned}$$

2) прогнозирование возможного состояния региональных компонентов

$$\check{V}_{\gamma\eta i}^\pi = G^\pi(V_{\gamma\eta i}^\pi, \check{V}_{\gamma\eta i}^\pi, \tau_i) = \bigcup_{\forall\mu} \check{V}_{\gamma\mu i}^\pi; \check{X}_{\alpha\eta i}^\pi = G^\pi(X_{\alpha\eta i}^\sigma, \check{V}_{\gamma\eta i}^\pi) = \bigcup_{\forall\mu} \check{X}_{\alpha\mu i}^\pi;$$

$$\overset{\vee}{Z}_{\beta\eta\tau_i}^\sigma = G^\sigma(Z_{\beta\eta\tau_i}^\sigma, \overset{\vee}{V}_{\gamma\eta\tau_i}^\pi) = \bigcup_{\forall\mu} \overset{\vee}{X}_{\beta\eta\mu\tau_i}^\sigma;$$

3) планирование требуемого состояния ресурсов спасательных мероприятий

$$\overset{\wedge}{Z}_{\beta\eta\tau_i}^\sigma = Q^\sigma(Z_{\beta\eta\tau_i}^\sigma, \overset{\vee}{X}_{\alpha\eta\tau_i}^\pi) = \bigcup_{\forall\mu} \overset{\wedge}{Z}_{\beta\eta\mu\tau_i}^\sigma;$$

4) анализ рассогласования требуемого и возможного состояния ресурсов спасательных мероприятий

$$\overset{\nabla}{Z}_{\beta\eta\tau_i}^\sigma = A^\sigma(\overset{\wedge}{Z}_{\beta\eta\tau_i}^\sigma, \overset{\vee}{Z}_{\beta\eta\tau_i}^\sigma) = \bigcup_{\forall\mu} \overset{\nabla}{Z}_{\beta\eta\mu\tau_i}^\sigma;$$

5) регулирование критических ресурсов спасательных мероприятий

$$\overset{\nabla}{Z}_{\beta\eta\tau_i}^\sigma = R^\sigma(\overset{\nabla}{Z}_{\beta\eta\tau_i}^\sigma, \overset{\vee}{Z}_{\beta\eta\tau_i}^\sigma) = \bigcup_{\forall\mu} \overset{\nabla}{Z}_{\beta\eta\mu\tau_i}^\sigma;$$

Иерархическая структура СУРЗ взаимообусловлена пространственно-временными связями между функциональными задачами в контурах различных уровней и звеньев.

### **Пространственно-временные связи между функциональными задачами**

Решение функциональных задач должно быть направлено на выработку таких управляющих воздействий, которые обеспечивают оперативное и согласованное движение подсистем различных уровней и звеньев к общей цели. Это достигается с помощью внутри- и межуровневых взаимосвязей и взаимодействия указанных подсистем при решении функциональных задач. В иерархической системе контуров оперативного управления РЗ по каналам прямой связи поступают распоряжения на выполнение необходимых мероприятий, а по каналам обратной связи донесение о результатах выполнения этих мероприятий. Таким образом, каждая подсистема оперирует лишь с информационным отображением своего объекта. Текущее и возможное состояние объекта определяется в результате решения задач учета и прогнозирования. Выработка управляющих воздействий на объект сводится к определению требуемого состояния ресурсов защитных мероприятий и его согласованию с возможным состоянием, т. е. к решению задач планирования, анализа и регулирования. Поэтому далее будем различать в каждом контуре два взаимосвязанных комплекса функциональных задач: моделирующий и управляющий. Моделирующий комплекс обеспечивает информационное отображение текущего и возможного состояния объекта путем решения задач учета и прогнозирования. Управляющий комплекс на основе этой информации обеспечивает выработку управляющих воздействий по корректировке хода выполнения защитных мероприятий путем решения задач планирования, анализа и регулирования.

В каждую подсистему информация может поступать как с ее объекта, так и с вышестоящей подсистемы. Свои действия каждая подсистема может согласовывать с подведомственными подсистемами, также с подсистемами одного с ней уровня непосредственно или вышестоящую подсистему. Эти согласования реализуются с помощью интернациональной процедуры, включающей взаимосвязанные информационные циклы двух видов: внутри- и межуровневые. Первые выполняются в контуре какого-либо уровня при децентрализованном управлении. Вторые возникают в процессе взаимодействия контуров различных уровней при централизованном управлении. Последовательное включение и выключение тех и иных контуров осуществляется результатом периодического контроля состояния региональных компонентов и определение рассогласования между возможным требуемым состоянием ресурсов защиты. В случае обнаружения отклонения подключаются контуры соответствующих уровней и звеньев для согласованного решения задач по перераспределению и свободных внешних ресурсов с целью удержания или возвращения этой подсистемы на заданную траекторию. Проблема

оперативного и согласованного решения рассматриваемых задач в условиях ЧС связана с весьма жесткими временными ограничениями на выполнение внутренних и межуровневых информационных циклов, а также с необходимостью строгой синхронизации процессов выработки управляющих воздействий с процессами приема-передачи данных по каналам прямой и обратной связи. Указанные обстоятельства обуславливают комплексную автоматизацию процессов сбора, обработки и выдачи данных в иерархической системе органов управления РЗ.

## Выводы

Процессы развития ЧС практически не поддаются достаточно точному формальному описанию. Вместе с тем они допускают классификацию и структуризацию составляющих компонентов – источников поражающих воздействий, объектов поражения и защиты и ресурсов защитных мероприятий – по общим причинно-следственным и пространственно-временным признакам.

Осуществлена качественная детализация описания контуров оперативного управления в ЧС. В результате подразделены математические модели, описывающие переходы объектов поражения и защиты в те или иные состояния, в зависимости от состояний ресурсов защитных мероприятий и источников поражающих воздействий.

Общая задача управления защитой регионов разделена на три основные задачи, которые подразделены для угрожающего, кризисного и послекризисного периодов развития чрезвычайной ситуации.

## Список литературы

1. Абдиева-Алиева Г. А. Математические модели и методы решения задач управления по региональной защите в чрезвычайных ситуациях // Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences. Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems. 2013. Vol. 35, № 3. С. 174–186.
2. Алиев Т. А. Теория и технология помех при прогнозе аварий // Автоматика и вычислительная техника. 2003. № 3. С. 21–28.
3. Алиев Т. А. Информационная система диагностики и помех при прогнозе аварий на компрессорных станциях // Автоматика и вычислительная техника. 2003. № 6. С. 33–39.
4. Оджагов Г. О. Проблемы управления чрезвычайными ситуациями. Баку: Чашыюглу, 1999. 372 с.
5. Садыхов А. Б. Описание региона как объекта управления в чрезвычайных ситуациях // Докл. НАН Азербайджана. 2003. Т. 59, № 1-2. С. 95–101.
6. Садыхов А. Б. Математические модели и методы решения задач управления по региональной защите в чрезвычайных ситуациях. Баку: Элм, 2004, 188 с.
7. Садыхов А. Б. Оценка эффективности создания и использования автоматизированной системы управления в чрезвычайных ситуациях // Смягчение последствий чрезвычайных ситуаций: Материалы II Междунар. конф. Баку, 2003. С. 126–133.
8. Садыхов А. Б. Модели и технологии для решения задач управления в чрезвычайных ситуациях: Дис. Баку, 2013. 286 с.

**G. A. Abdiyeva-Aliyeva**

*Institute of Management of NAN  
501 M. Mushviq St., Baku, AZ1073, The Republic Azerbaijan*

*Gunayfh@gmail.com*

**ANALYSIS OF MANAGEMENT FOR REGIONAL PROTECTION  
IN EMERGENCY SITUATIONS**

The article examines the processes of the emergency situations and management tasks are formulated protective measures. Initially specified initial concepts and a general classification of emergency situations. As a result of classification defined are substantial processes and factors affecting the manifestation of protective measures. Structuring these factors and formulation of management tasks, a system of protection indicators that allow implementing rapid real time measurements is proposed.

*Keywords:* Emergency situations, mathematical models, decisions making, regional guarding, management.

**References**

1. Abdiyev-Aliyeva G. A. Mathematical models and methods for solving problems of regional protection in emergency situations. *Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems*, 2013, vol. 35, no. 3, p. 174–186. (In Russ.)
2. Aliev T. A. Theory and technology of interference on the forecast of accidents. *Automation and Computer Engineering*, 2003, no. 3, p. 21–28. (In Russ.)
3. Aliev T. A. Information system for diagnostics and interference on the forecast of accidents at compressor stations. *Automation and Computer Engineering*, 2003, No. 6, p. 33–39. (In Russ.)
4. Odjagov O. O. Problems of emergency management. Baku, Chashyoglu, 1999, 372 p. (In Russ.)
5. Sadykhov A. B. Description of the region as an object of management in emergency situations. *Reports of NAS of Azerbaijan*, 2003, vol. 59, no. 1-2, p. 95–101. (In Russ.)
6. Sadykhov A. B. Mathematical models and methods for solving problems of regional protection in emergency situations. Baku, Elm, 2004, 188 p. (In Russ.)
7. Sadykhov A. B. Evaluation of the effectiveness of the creation and use of an automated management system in emergency management. *Mitigating the Consequences of Emergencies. Proc. of the II International Conference*. Baku, 2003, p. 126–133. (In Russ.)
8. Sadykhov A. B. Models and technologies for solving problems of management in emergency situations. Diss. Baku, 2013, 286 p. (In Russ.)

*For citation:*

Abdiyeva-Aliyeva G. A. Analysis of Management for Regional Protection in Emergency Situations. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2018, vol. 16, no. 1, p. 5–17. (In Russ.)