

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2021. Т. 30. № 5. С. 42–57
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2021; 30(5):42-57

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 519.841

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2021.30.05.42-57>

Модель эффективности реагирования в иерархической системе управления по оценкам готовности пожарных подразделений

Николай Григорьевич Топольский¹, Станислав Юрьевич Бутузов¹,
Валерий Яковлевич Вилисов^{2✉}, Владимир Леонтьевич Семиков¹

¹ Академия Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий, Москва, Россия

² Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова, Королев, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Готовность подсистем всех уровней в Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) к реагированию на чрезвычайные ситуации является одной из важнейших характеристик, определяющих ее эффективность. Для поддержки принятия решений на верхних уровнях иерархии управления важно иметь комплекс моделей, адекватно отражающих зависимость ключевых показателей эффективности реагирования от частных показателей нижележащих уровней системы (пожарно-спасательных подразделений). Нормативный подход к построению таких моделей, когда аналитики задают не только их структуру, но и параметры, в большинстве случаев оказывается малопродуктивным в силу неадаптивного их характера в условиях динамично изменяющихся внешних условий и технологических возможностей современных средств. Применение подхода, основанного на решении обратных задач, замыкающих контур обратной связи и обеспечивающих адаптивную подстройку не только параметров, но и структуры моделей, позволяет обеспечить текущую адекватность моделей в изменяющихся условиях.

Актуальность исследования заключается в разработке технологии построения полиномиальных моделей, позволяющих оценить эффективность реагирования в РСЧС на основании оценок показателей готовности подсистем нижних уровней, полученных с помощью экспертного оценивания (тестирования) средствами внутреннего контроля.

Цели и задачи. Целью работы являются построение и апробация технологии создания аналитических полиномиальных моделей, позволяющих адекватно оценивать показатели эффективности реагирования РСЧС в зависимости от показателей готовности подсистем нижних уровней (пожарно-спасательных подразделений). В соответствии с этой целью поставлены и задачи выбора типа модели и методов получения необходимых исходных данных.

Методы. В исследовании использованы методы анализа иерархически организованных систем, математическая статистика, имитационное моделирование, методы экспертного оценивания. Исследование основано на материалах отечественных и зарубежных публикаций.

Результаты и обсуждение. Предложенный метод построения модели эффективности функционирования РСЧС по данным о готовности подсистем дает основу для построения и моделей, учитывающих другие показатели подсистем.

Вывод. Представленные результаты решения задачи построения полиномиальной модели, отражающей зависимость эффективности реагирования РСЧС от показателей готовности нижних уровней, дают основание для построения и других подобных моделей для их использования в составе систем поддержки принятия решений.

Ключевые слова: риск; тестирование; внутренний контроль; экспертная оценка; регрессия; имитационное моделирование

Для цитирования: Топольский Н.Г., Бутузов С.Ю., Вилисов В.Я., Семиков В.Л. Модель эффективности реагирования в иерархической системе управления по оценкам готовности пожарных подразделений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 5. С. 42–57. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.42-57

✉ Вилисов Валерий Яковлевич, e-mail: vilisov@ut-mo.ru

A model of response efficiency in the hierarchical control system based on the assessment of readiness of fire departments

Nikolay G. Topolsky¹, Stanislav Yu. Butuzov¹, Valeriy Ya. Vilisov^{2✉}, Vladimir L. Semikov¹

¹The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

²Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov, Korolev, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The readiness of all levels of subsystems that comprise the Unified State System for Emergency Prevention and Liquidation (USSEPL) is one of the most important characteristics that determine its effectiveness. To support decision-making at the upper levels of the management hierarchy, it is important to have a set of models that adequately represent the dependence between key response efficiency indicators and particular indicators of lower levels of the system (fire and rescue departments). In most cases, a regulatory approach to the construction of such models, by virtue of which analysts set their structure and parameters, turns out to be unproductive due to their non-adaptive nature in the context of dynamically changing external conditions and technological capabilities of modern devices. The use of an approach based on solving inverse problems that close the feedback loop and provide for an adaptive adjustment of parameters and the structure of models, ensures the current adequacy of models amid changing conditions.

The relevance of the study lies in the development of a technology for constructing polynomial models that allow to assess the USSEPL response effectiveness based on estimated indicators of readiness of subsystems at lower levels obtained using expert evaluation techniques (testing) by means of internal control.

Goals and objectives. The aim of the work is to build and test the technology for developing analytical polynomial models that allow to adequately assess performance indicators of the USSEPL response depending on the readiness indicators of lower-level subsystems (fire and rescue departments). In compliance with this goal, the tasks of choosing the type of model and methods of obtaining the necessary initial data are also set.

Methods. The study uses methods of analysis of hierarchically organized systems, mathematical statistics, simulation modelling, and methods of expert evaluation. The research is backed by materials from domestic and foreign publications.

Results and discussion. The proposed method of constructing an efficiency model of the USSEPL operation, relying on the readiness of subsystems, serves as the basis for constructing models that can take into account other indicators of subsystems.

Conclusions. The solution to the problem of constructing a polynomial model, that features dependence between the USSEPL response efficiency and lower-level readiness indicators, serves as the basis for other similar models that will support decision making systems.

Keywords: risk; testing; internal control; expert evaluation; regression; simulation modeling

For citation: Topolsky N.G., Butuzov S.Yu., Vilisov V.Ya., Semikov V.L. A model of response efficiency in the hierarchical control system based on the assessment of readiness of fire departments. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(5):42-57. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.42-57 (rus).

✉ Valeriy Yakovlevich Vilisov, e-mail: vilisov@ut-mo.ru

Введение

Вопросы контроля готовности подразделений МЧС к выполнению задач ликвидации ЧС закреплены в нормативных правовых актах РФ, в частности, в постановлении Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» отмечается: «19. Готовность аварийно-спасательных служб к реагированию на ЧС проверяется в ходе проверок, осуществляемых в пределах своих полномочий МЧС, органами госнадзора и контроля, а также органами исполнительной власти ...». В статье предложены методы и алгоритмы обеспечения технологических процедур внутреннего контроля готовности к реагированию на ЧС на различных уровнях иерархии управления. Предлагаемые в работе элементы технологии (методы и алгоритмы) внутреннего контроля основаны на риск-ориентированном подходе, позволяющем перейти от *управления по отклонениям* (выходных

показателей от нормы) к *управлению по возмущениям* (факторов, влияющих на выходные показатели). Использование такого подхода требует применения моделей, увязывающих факторы с показателями.

Собянин С.С. в [1] в разделе «Планы и программы на 2019–2020 годы» отдельно указывает на «... внедрение риск-ориентированного подхода» как одного из направлений обеспечения пожарной безопасности столицы. Кроме того, он отмечает необходимость реализации внутреннего контроля состояния оборудования «... в период между инспекционными контролями».

Понятие риска в настоящее время широко используется для оценивания состояния организационных систем и последующего риск-ориентированного управления [2–7]. Одним из рабочих определений риска может быть следующее, предложенное Ф.Х. Найтом [2]: «Риск — это количественное значение неопределенности наступления некоторого события (фактора), вследствие которо-

го результаты деятельности организации могут отличаться от ожидаемых (плановых), как правило, в сторону ухудшения».

В контексте пожарной безопасности в ряде работ Н.Н. Брушлинского, С.В. Соколова и др. [5, 6] проанализировано понятие риска и развита концепция риска, в том числе, в составе триады «*опасность, риск, безопасность*», в соответствии с которой «*Риск — это количественная характеристика возможности реализации конкретной опасности или ее последствий*», а «*управление риском — это разработка комплекса мероприятий* (инженерно-технического, экономического, социального и иного характера), позволяющих снизить значение данного риска до допустимого уровня».

Основой риск-ориентированного подхода в организационных системах в настоящее время являются инструменты внутреннего контроля (ВК), принципы которого закреплены *Лимской декларацией руководящих принципов контроля*. Инструменты ВК [4] реализуются в системах ВК (СВК).

Во всех подходах, основанных на риск-ориентированном управлении, важным элементом является текущая количественная оценка риска того или иного типа (по отношению к соответствующей опасности). А поскольку разнообразия видов опасностей или рисков событий (факторов неопределенности) для любой организации (или отдельной подсистемы того или иного уровня иерархии управления) существует много, то и совокупная (интегральная) оценка риска представляет собой некоторую свертку вектора оценок частных рисков [4].

В иерархически организованных системах управления важной является задача определения зависимости показателей функционирования системы в целом (ее верхнего уровня) от показателей подчиненных подсистем. В зависимости от значимости отдельных подсистем в общем эффекте их влияние может варьироваться от практически не значимых до значимых существенно. Одним из существенных показателей является готовность к выполнению поставленных перед системой задач. Значимость подсистем РСЧС может проявляться в результате ликвидаций ЧС.

Таким образом, актуальность организации и проведения внутреннего контроля текущего состояния сил и средств (СиС) пожарно-спасательных частей и системы управления ими на разных уровнях иерархии управления подтверждается нормативно-распорядительной документацией, развитием современных информационно-коммуникационных технологий, а также логикой развития современных систем управления, ориентирующихся все в большей степени на принципы проактивного, риск-ориентированного управления.

В работе в качестве базового инструмента оценивания рисков предложена система бинарных тестов, позволяющих тестировать подразделения пожарно-спасательных служб и сотрудников ГПС, а также различные уровни ФОИВ, входящих в состав РСЧС (согласно постановлению Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. № 794), как источники событий, повышающих риски организации, а значит, и потенциально снижающих эффективность ее функционирования. Модельные исследования в работе без потери общности выполнены для двухуровневой системы РСЧС.

Таблица 1. Состав РСЧС. Резиденты и их функциональные подсистемы

Table 1. USSEPL composition. Residents and their functional subsystems

Резиденты (ФОИВ) РСЧС USSEPL (Federal executive authorities) residents	Функциональные подсистемы Functional subsystems
МВД РФ RF Ministry of Internal Affairs	1.1. Охраны общественного порядка 1.1. Public order enforcement
МЧС РФ RF Ministry of Emergency Situations	2.1. Мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций 2.1. Monitoring, laboratory control and emergency forecasting 2.2. Предупреждения и тушения пожаров 2.2. Fire prevention and extinguishing 2.3. Предупреждения и ликвидации ЧС на подводных потенциально опасных объектах во внутренних водах и территориальном море РФ 2.3. Prevention and liquidation of emergencies at potentially hazardous underwater facilities in inland waters and territorial seas of the RF 2.4. Координации деятельности по поиску и спасанию людей во внутренних водах и территориальном море РФ 2.4. Coordination of activities on the search for and rescue of people in inland waters and territorial seas of the RF
МО РФ RF Ministry of Defense	3.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Вооруженных Сил РФ 3.1. Prevention and liquidation of emergencies within the RF armed forces

Резиденты (ФОИВ) РСЧС USSEPL (Federal executive authori- ties) residents	Функциональные подсистемы Functional subsystems
Минздрав РФ RF Ministry of Healthcare	4.1. Всероссийской службы медицины катастроф 4.1. All-Russian Service of the Emergency Medicine 4.2. Медико-санитарной помощи пострадавшим в ЧС в организациях (на объектах), находящихся в ведении ФМБА РФ, а также организациях и территориях, обслуживаемых ФМБА РФ 4.2. Medical and sanitary aid for victims of emergencies at organizations (facilities) controlled by the RF Federal Medical and Biological Agency (RFFMBA), as well as organizations and territories serviced by RFFMBA 4.3. Резервов медицинских ресурсов 4.3. Reserves of medical resources
Минтруд РФ RF Ministry of Labour	5.1. Социальной защиты населения, пострадавшего от чрезвычайных ситуаций 5.1. Social security of the communities affected by emergencies
Минобрнауки РФ RF Ministry of Science and Higher Education	6.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в сфере деятельности Минобрнауки РФ 6.1. Prevention and liquidation of emergencies within the field of activities of the RF Ministry of Science and Higher Education
Минпросвещения РФ Ministry of Education	7.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в сфере деятельности Минпросвещения РФ 7.1. Prevention and liquidation of emergencies within the field of activities of the RF Ministry of Education
Минприроды РФ RF Ministry of Nature Protection	8.1. Противопаводковых мероприятий и безопасности гидротехнических сооружений, находящихся в ведении Росводресурсов 8.1. Flood-prevention actions and safety of hydraulic engineering structures under the control of the Federal Water Resources Agency 8.2. Мониторинга состояния недр (Роснедра) 8.2. Monitoring of subsoils (Federal Agency for Subsoil Usage) 8.3. Наблюдения, оценки и прогноза опасных гидрометеорологических и гелиогеофизических явлений и загрязнения окружающей среды (Росгидромет) 8.3. Monitoring, assessment and forecasting of hazardous hydrometeorological and geliogeophysical phenomena and pollution of the environment 8.4. Предупреждения о цунами (Росгидромет совместно с Геофизической службой РАН, МЧС РФ, Минкомсвязью РФ, администрациями субъектов РФ в Дальневосточном регионе) 8.4. Tsunami alerts (Russian Meteorological Service together with the Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, RF Ministry of Emergencies, RF Ministry of Communications, administrations of the RF subjects in the Far-Eastern region) 8.5. Федерального государственного экологического надзора (Росприроднадзор) 8.5. Federal Supervisory Natural Resources Management Service (Federal Service for Supervision of Natural Resource Usage) 8.6. Охраны лесов от пожаров и защиты их от вредителей и болезней леса (Рослесхоз) 8.6. Fire safety of forests, forest protection from pests and forest diseases (Federal Forestry Agency)
Минпромторг РФ RF Ministry of Industry and Trade	9.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах), находящихся в ведении Минпромторга РФ и Росстандарта 9.1. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (at facilities) controlled by the RF Ministry of Industry and Trade and the Federal Agency on Technical Regulation and Metrology 9.2. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах) оборонно-промышленного комплекса 9.2. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (facilities) of the military industrial complex 9.3. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах) гражданских отраслей промышленности 9.3. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (facilities) of civil branches of industry 9.4. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах) уничтожения химического оружия 9.4. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (facilities) responsible for destruction of chemical weapons

Резиденты (ФОИВ) РСЧС USSEPL (Federal executive authori- ties) residents	Функциональные подсистемы Functional subsystems
Минтранс РФ RF Ministry of Transport	10.1. Транспортного обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций 10.1. Transport services within the framework of liquidation of emergencies
	10.2. Организации и координации деятельности поисковых и аварийно-спасательных служб (как российских, так и иностранных) при поиске и спасении людей и судов, терпящих бедствие на море в поисково-спасательных районах РФ (Росморречфлот) 10.2. Organization and coordination of activities of rescue and emergency teams (both Russian and foreign) in the course of searching for and rescuing people and vessels in case of marine disasters within search and rescue regions of the RF (Federal Agency for Maritime and River Transport of Russia)
	10.3. Организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в море с судов и объектов независимо от их ведомственной и национальной принадлежности (Росморречфлот) 10.3. Organization of work on prevention and liquidation of crude oil and oil product spills from vessels and facilities irrespective of their affiliation and nationality (Federal Agency for Maritime and River Transport of Russia)
	10.4. Организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на внутренних водных путях с судов и объектов морского и речного транспорта (Росморречфлот) 10.4. Organization of work on prevention and liquidation of crude oil and oil product spills from vessels and facilities of marine and river transport (Federal Agency for Maritime and River Transport of Russia)
	10.5. Поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов гражданской авиации (Росавиация) 10.5. Search and emergency rescue services for civil aviation flights (Federal Air Transport Agency)
	10.6. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте (Росжелдор) 10.6. Prevention and liquidation of emergencies at railroad transport facilities (Federal Railway Transport Agency)
Минкомсвязь РФ RF Ministry of Communications	11.1. Информационно-технологической инфраструктуры 11.1. Information and technology infrastructure
	11.2. Электросвязи и почтовой связи 11.2. Electric and postal communications
Минсельхоз РФ RF Ministry of Agriculture	12.1. Защиты сельскохозяйственных животных 12.1. Protection of agricultural animals
	12.2. Защиты сельскохозяйственных растений 12.2. Protection of agricultural plants
	12.3. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах), находящихся в ведении и входящих в сферу деятельности Минсельхоза РФ 12.3. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (facilities) under the control and within the scope of activities of the RF Ministry of Agriculture
	12.4. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах), находящихся в ведении или входящих в сферу деятельности Росрыболовства 12.4. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (facilities) under the control and within the scope of activities of the Federal Agency for Fishery
Минэкономраз- вития РФ RF Ministry of Economic Development	13.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в сфере деятельности Роспатента 13.1. Prevention and liquidation of emergencies within the scope of activities of the Russian Federal Service for Intellectual Property
Росатом State Atomic Energy Corporation	14.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах), находящихся в ведении и входящих в сферу деятельности Госкорпорации «Росатом» 14.1. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (facilities) under the control and within the scope of activities of the State Atomic Energy Corporation

Резиденты (ФОИВ) РСЧС USSEPL (Federal executive authorities) residents	Функциональные подсистемы Functional subsystems
Минэнерго РФ RF Ministry of Energy	15.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах) топливно-энергетического комплекса и в организациях (на объектах), находящихся в ведении Минэнерго РФ 15.1. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (facilities) of the fuel and energy complex and within organizations (facilities) under the control of the RF Ministry of Energy
Ростехнадзор Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia	16.1. Контроля за ядерно- и радиационно опасными объектами 16.1. Control over nuclear and radiation hazardous facilities 16.2. Контроля за химически опасными и взрывопожароопасными объектами 16.2. Control over chemically hazardous and fire explosive facilities
Роскосмос Russian Federal Space Agency	17.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и критически важных объектах, входящих в сферу деятельности Госкорпорации «Роскосмос» 17.1. Prevention and liquidation of emergencies at potentially hazardous and critically important facilities within the scope of activities of the Russian Federal Space Agency
Минстрой РФ RF Ministry of Construction, Housing and Utilities	18.1. Защиты городов, населенных пунктов от аварий, катастроф и стихийных бедствий 18.1. Protection of cities and settlements from accidents, emergencies and natural calamities 18.2. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах), находящихся в ведении и входящих в сферу деятельности Минстроя РФ 18.2. Prevention and liquidation of emergencies within organizations (facilities) under the control and within the scope of activities of the RF Ministry of Construction, Housing and Utilities
Роспотребнадзор Russian Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare	19.1. Надзора за санитарно-эпидемиологической обстановкой 19.1. Oversight of the sanitary and epidemiological situation
Росгвардия Federal National Guard Troops Service	20.1. Предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций войск национальной гвардии РФ 20.1. Prevention and liquidation of emergencies within the troops of the Federal National Guard Troops Service
Росрезерв Russian Federal State Reserve Agency	21.1. Государственного материального резерва 21.1. State material reserve
ФСБ РФ RF Federal Security Service	22.1. Пограничной службы 22.1. Russian Federal Border Service

Структура системы

Согласно постановлению Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. № 794 система реагирования на чрезвычайные ситуации (ЧС) в РФ включает 21 федеральный орган исполнительной власти (ФОИВ) с их функциональными подсистемами (табл. 1). В состав ФОИВ для полноты анализа добавлена и Федеральная пограничная служба (входящая в состав ФСБ РФ), так как с учетом

событий последнего времени (в частности, пандемии) актуальным становится перекрытие границ РФ для обеспечения, например, карантинных мероприятий.

Полная структура РСЧС приведена на рис. 1.

Эффективность реагирования РСЧС зависит не только от функциональных возможностей, ресурсов ведомств и их подсистем, но и от возникающих ЧС (внешние факторы).

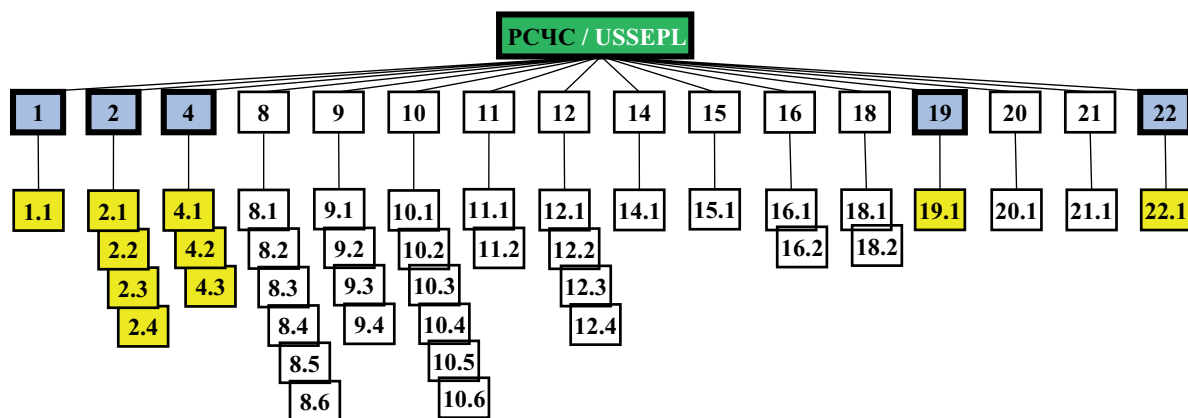


Рис. 1. Структура РСЧС для комплексного сценария

Fig. 1. The structure of the Unified State System for Emergency Prevention and Liquidation (USSEPL) for the purpose of a comprehensive scenario

Функционирование иерархической структуры РСЧС реализуется в ликвидации ЧС различных типов, определенных в нормативных документах. Основные разновидности ЧС объединены в следующие группы:

- пожары в городской и сельской местности, в лесах (по всей территории РФ) с интенсивностью, соответствующей типовой статистике;
- аварии и катастрофы техногенного и природного характера (на АЭС, ГЭС, на крупных производствах и на оборонных объектах и т.п.) различных масштабов;
- паводки весной и при обильных дождях в паводкоопасных районах РФ;
- эпидемии в отдельных регионах РФ и пандемии;
- ЧС во внутренних и внешних акваториях РФ.

На «вход» РСЧС информация о ситуациях этих типов поступает для «обработки» как смесь информационных потоков. При этом РСЧС выступает в роли системы массового обслуживания (СМО), обладающей определенной (не безграничной) пропускной способностью. И в зависимости от локальной интенсивности этих потоков ресурсы подсистем, подразделений могут обладать различной степенью готовности к выполнению очередных боевых задач. Но с учетом того, существенна ли готовность конкретной подсистемы (подразделения) в общей структуре управления при решении задач определенного типа, может определяться и общая готовность РСЧС к выполнению боевых задач. Эти зависимости и являются предметом рассмотрения в данной работе.

Предполагается, что на нижних уровнях иерархии управления (в пожарно-спасательных частях, гарнизонах и т.п.), как и в других аналогичных организационных структурах [4], в соответствии с нормативными требованиями производится регулярный

мониторинг готовности различных сторон их деятельности.

Данные тестирования могут обрабатываться с различной степенью централизации.

Варианты межуровневого взаимодействия

Основные виды межуровневого взаимодействия определяются вариантами структуры организации. Наиболее существенными являются:

- **информационная структура**, отражающая потоки информации о состоянии (в рассматриваемом случае — готовности РСЧ к реагированию) тех или иных сторон операционной деятельности, информацию, возникающую в процессе мониторинга и направляемую снизу-вверх;
- **управленческая структура**, отражающая потоки управленческо-распорядительных данных, направляемых сверху вниз для исполнения (тесты, планы проверок, распоряжения по устранению последствий нарушений, их потенциальных причин и др.).

Из числа алгоритмических модулей, исполняемых в различных подразделениях как верхнего, так и нижних уровней (в контексте организации внутреннего контроля), можно выделить основные.

1. Формирование тестов (выбор репрезентативных показателей).
2. Тестирование (сбор данных от экспертов и автоматических процедур о состоянии ВК, операционной деятельности подведомственной организации ПВО).
3. Проверки операционной деятельности ПВО, выполняемые:

- 3.1. Внешними органами;
- 3.2. В рамках внутренних инспекций службами организации;
- 3.3. Как внутренние проверки в рамках плана работы СВК ПВО.

4. Выявление источников нарушений:

4.1. По результатам тестирования (мониторинга);

4.2. По результатам внешних проверок.

5. Устранение последствий нарушений и/или предотвращение возможных нарушений.

Каждый из модулей (с учетом их модификаций, приведенных в подпунктах) может быть реализован на верхнем уровне в вышестоящей организации (BCO), на нижних (ПВО) и распределен между ними. Поэтому их сочетание дает большое разнообразие возможных вариантов размещения модулей на уровнях иерархических структур организаций, а значит, и существенное разнообразие вариантов их взаимодействия.

Приведенные на рис. 2 варианты межуровневого взаимодействия в виде функционально-алгоритмических модулей отражают первую из трех

наиболее существенных вариантов структуру организации обработки результатов ВК:

1) полностью *централизованную*, в которой на нижнем уровне (ПВО) выполняется лишь тестирование, а вся обработка его результатов проводится на верхнем уровне (в BCO). В таком распределении функций минимизируется возможность преднамеренного искажения конечных показателей тестирования, свойственного большинству организационных систем, являющегося проявлением их активности по В.Н. Буркову [8];

2) *децентрализованную*, в которой все контрольные функции переданы на уровень ПВО, где выполняются тестирование и обработка его результатов;

3) *переходную* — частично децентрализованную с передачей части контрольных функций на уровень ПВО.

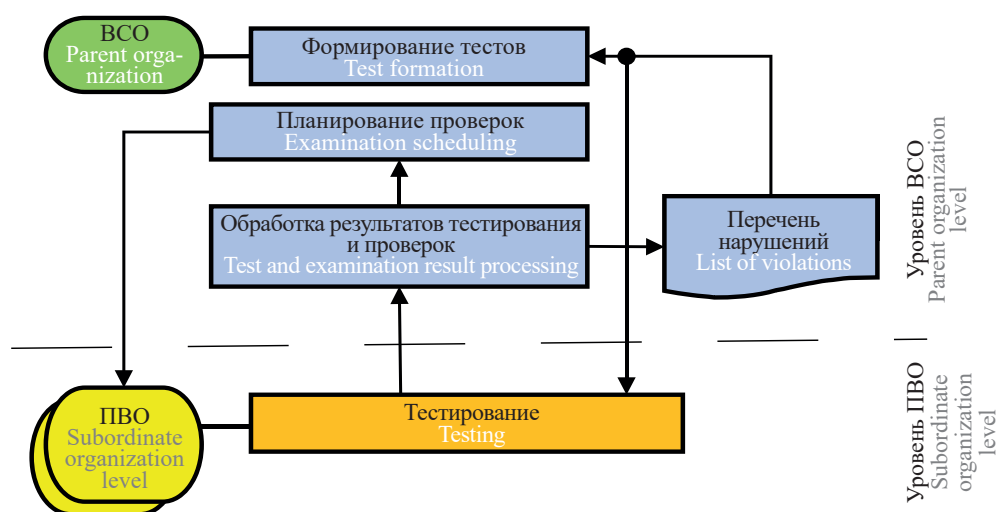


Рис. 2. Централизованный вариант тестирования и проверок

Fig. 2. A centralized testing and examination option

Таблица 2. Показатели готовности подсистем в ЧС

Table 2. Indicators of readiness of subsystems in case of emergency

ЧС EMERGENCY	Подсистемы (резиденты) Subsystems (residents)																						РСЧС USSEPL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
ЧС 1 EMERGENCY 1	0,5	0,7		0,8		0,3		0,7	0,9		0,6				0,7			0,8	0,6		0,8	0,7	0,785
ЧС 2 EMERGENCY 2	0,7	0,9		0,7					0,6	0,5	0,8	0,7		0,6		0,6			0,9	0,8	0,7	0,6	0,896
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ЧС n EMERGENCY n	0,6	0,4		0,9				0,7	0,8	0,4	0,9	0,9	0,7		0,8	0,5	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,9	0,778

В табл. 2 приведен гипотетический пример, в котором наблюдаются n ЧС, относящихся к одной из групп ЧС (или к некоторой их подгруппе), приведенных выше. В этой группе ЧС (например, в пожарах в крупных зданиях) участвуют подсистемы 1, 2, 4, 19, 22. Значения, приведенные в табл. 2, соответствуют текущим показателям готовности, полученным от подведомственных подсистем.

Постановка задачи

Целью исследования является построение модели, отражающей важность вклада готовности каждой из подсистем РСЧС в интегральную эффективность реагирования системы (РСЧС) при возникающих ЧС.

Эффективность РСЧС как сложной многоуровневой системы описывается множеством показателей, отражающих различные стороны ее функционирования [5–7, 9, 10]. Однако для вышестоящих уровней управления важным является наличие некоторого обобщенного показателя, объединяющего в себе множество частных показателей.

Предполагается, что на уровне ПВО (см. рис. 1) имеется возможность оценивания показателей готовности соответствующих подсистем с помощью методов экспертных оценок, которые могут быть реализованы в виде интерактивных тестов, фрагмент примера одного из которых приведен в табл. 3.

Интегральный показатель, вычисляемый по тесту для отдельного подведомственного звена системы, имеет вид [4]:

$$x_g = \sum_{i=1}^{I_g} \mu_{gi} s_{gi}, \quad (1)$$

где i — номер показателя в g -ном тесте (или g -ной ПВО);

I_g — число показателей в g -ном тесте;

s_{gi} — значение ответа на вопрос по i -му показателю в g -ном тесте;

μ_{gi} — весовой коэффициент i -го показателя в g -ном тесте; для всех весовых коэффициентов должно выполняться условие нормировки:

$$\sum_{i=1}^{I_g} \mu_{gi} = 1.$$

Подобные тесты могут выполняться непосредственно компетентным лицом, уполномоченным давать текущие оценки s_{gi} и/или соответствующие им веса μ_{gi} . Оценки могут быть получены и с использованием методов парных сравнений [11], позволяющих получить максимально надежные индивидуальные оценки. При этом для еще большего повышения надежности оценок может быть использована и групповая экспертиза. Однако организация экспертизы на самом нижнем (первичном) уровне иерархии управления не является предметом рассмотрения в данной работе. Здесь будем считать, что необходимые оценки на самом нижнем уровне иерархии управления (в ПВО) получены. Тогда для вышестоящей организации (ВСО) возникает задача оценивания эффективности (y) реагирования на текущую ЧС всей иерархией управления. Если бы существовала функциональная зависимость показателя y от показателей готовности ПВО, то ее можно было представить без потери общности в следующей полиномиальной по переменным ($x \dots$) и линейной по параметрам ($\gamma_g, \gamma_{gh}, \dots$) форме:

$$y = \sum_{g=1}^G \gamma_g x_g + \sum_{g=1}^G \sum_{h=1}^H \gamma_{gh} x_g x_h + \dots, \quad (2)$$

где индексы $g, h \dots$ имеют смысл номера ПВО.

Априори задать такую зависимость (степень полинома и коэффициенты $\gamma_g, \gamma_{gh}, \dots$), исходя

Таблица 3. Показатели, характеризующие состояние сил и средств МЧС РФ (тест № g)

Table 3. Indicators that characterize the state of forces and resources of the RF Ministry of Emergencies (Test No. g)

№ No. ($i = 1, \dots, I_g$)	Тестовые вопросы Test questions	Значение s_{gi} Value s_{gi}	Вес μ_{gi} Weight μ_{gi}
1	Доля пожарно-спасательного оборудования, находящегося в состоянии полной готовности (от 0 до 1) The share of the fire and rescue equipment in the state of full alert	s_{g1}	μ_{g1}
2	Текущий уровень профессиональной подготовленности личного состава (от 0 до 1) Current level of professional preparedness of the staff	s_{g2}	μ_{g2}
...	...	...	...
I_g	Текущее состояние транспортной инфраструктуры закрепленного за подразделением региона (от 0 до 1) Current state of the transport infrastructure in the region within the scope of responsibility of the subdivision (0 to 1)	s_{gI_g}	μ_{gI_g}
Итоговый показатель по тесту: Total test value:		x_g	

из тех или иных нормативных соображений, обычно не представляется возможным.

Выражение (2) отражает постановку *прямой задачи* оценивания эффективности ликвидации очередной ЧС по показателям готовности ПВО. В выражении (2) неизвестными являются весовые коэффициенты $\gamma_g, \gamma_{gh}, \dots$. Как показывают исследования [12, 13], ЛПР, как эксперт, может с приемлемой точностью давать экспертные оценки *лишь привычным ему объектам*, в данной задаче — независимым и зависимым переменным (s_{gi} и y), а не весам важности $\mu_{gi}, \gamma_g, \gamma_{gh}, \dots$.

Поэтому для того, чтобы воспользоваться выражением (2) для получения прогнозного значения эффективности ликвидации ЧС по экспертным оценкам готовности, поступившим от нижнего уровня, предлагается решить *обратную задачу* — по выборке объемом K наблюдений, состоящим из оценок интегральных показателей эффективности реагирования $\{y\}$, полученным от экспертов (ЛПР ВСО), и оценок $\{x_g\}$, полученных от ПВО, построить оценки весовых коэффициентов $\gamma_g, \gamma_{gh}, \dots$. Таким образом, обратная задача замыкает контур обратной связи, обеспечивающий текущую адекватность модели (2), которая может быть использована для прогнозирования эффективности ликвидации очередной ЧС на основании текущих оценок готовности ПВО $x \dots$. Модель (2) может быть использована в составе систем поддержки принятия решений в РСЧС для обеспечения необходимого уровня эффективности реагирования на ЧС.

Модельный пример

Рассматриваемая обратная задача относится к классу задач ретроспективной идентификации параметров модели при заданной ее структуре, поэтому можно воспользоваться инструментарием регрессионного анализа [14].

Имитационное моделирование выполнено для сокращенной структуры РСЧС, представленной на рис. 1, в которой участвуют лишь функци-

ональные подсистемы 1, 2, 4, 19, 22 (тонированы на рис. 1). Такая сокращенная структура характерна для сценариев ЧС (например, пандемия), в которых максимальная нагрузка приходится на Минздрав, но кроме того, в качестве обеспечивающих участвуют МВД (для соблюдения режима), МЧС, Роспотребнадзор (РПН) — для тестирования населения и Госпогранслужба (ФСБ) для соблюдения пропускных режимов на границах.

Для построения модели взаимосвязи показателей готовности уровней без потери общности рассмотрено взаимодействие двух верхних уровней (см. рис. 1), где ВСО — это самый верхний уровень РСЧС, а ПВО — это министерства и ведомства, подчиненные ему непосредственно. В имитационном эксперименте рассматривается лишь линейная (по переменным) форма модели (2). Модельные значения весовых коэффициентов γ_g приняты соответственно (в форме транспонированного вектора):

$$\gamma = [0,1 \ 0,2 \ 0,4 \ 0,1 \ 0,2]^T. \quad (3)$$

Эти значения и предстоит оценить в процессе решения обратной задачи. В ходе имитации были сгенерированы показатели готовности нижних уровней, имитирующие тестирование готовности к ликвидации очередной ЧС соответствующих ПВО, а также экспертные оценки интегральной эффективности верхнего уровня (т.е. системы в целом) по версии экспертов верхнего уровня. Объем выборки в имитационном эксперименте составил $K = 50$ наблюдений. В табл. 4 приведен фрагмент выборки наблюдений.

Значения в табл. 4 сгенерированы в соответствии с β -распределением, плотность распределения которого имеет вид:

$$f(\alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}, \quad (4)$$

где $B(\alpha, \beta)$ — β -функция вида:

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx, \quad (5)$$

Таблица 4. Фрагмент выборки наблюдений

Table 4. Observation sampling fragment

Номер набл. Observation No.	МВД Ministry of Internal Affairs	МЧС Ministry of Emergencies	МЗ Ministry of Healthcare	РПН Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare	ФСБ Federal Security Service	РСЧС USSEPL
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	0,244	0,570	0,706	0,536	0,924	0,665
2	0,235	0,417	0,410	0,515	0,794	0,486
...	...	...	...	...	...	...
50	0,492	0,483	0,597	0,330	0,933	0,602

$$m_x = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}; D_x = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2 (\alpha + \beta + 1)}. \quad (6)$$

При имитации все ПВО разбиты на три группы в зависимости от типов ЧС, в которых они участвуют. При этом, чем в большем количестве типов ЧС одновременно участвует ПВО, тем меньшее среднее значение имеет его β -распределение (в силу ограниченности ресурсов). При моделировании параметры α и β для β -распределений этих трех групп ПВО были заданы соответственно следующими (5; 5), (10; 5), (30; 5). Графики их плотностей распределения приведены на рис. 3.

Математические ожидания и среднеквадратические отклонения (m_x ; σ_x) этих трех распределений имеют следующие значения соответственно: (0,50; 0,15), (0,67; 0,12), (0,86; 0,06). Гистограмма имитированных (в среде MS Excel) β -распределенных случайных величин для всех ПВО самого нижнего уровня иерархической системы (по выборкам объемом 1000 наблюдений для каждой) приведена на рис. 4. Фрагмент этих выборок и представлен в колонках $x_1, \dots, x_5$ табл. 4.

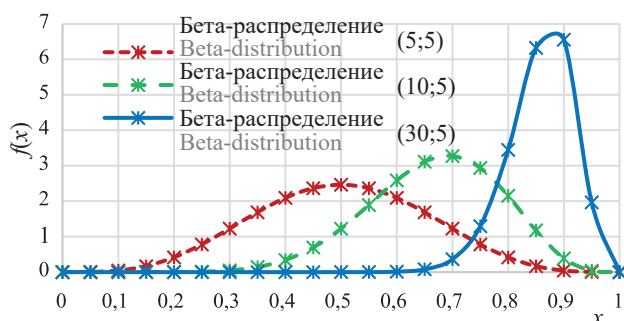


Рис. 3. Плотности распределения оценок показателей трех категорий ПВО

Fig. 3. Distribution density for indicator assessments of three categories of subordinate organizations

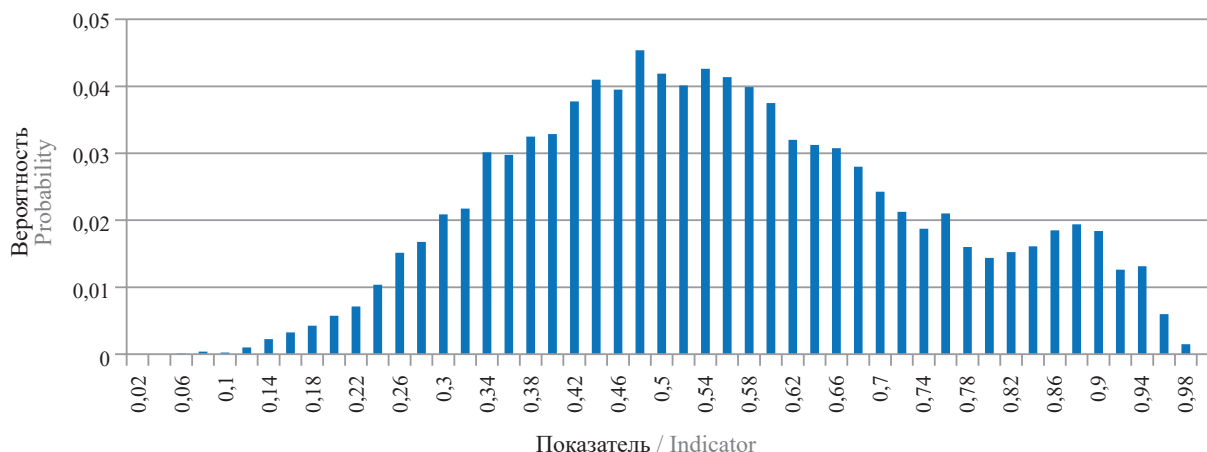


Рис. 4. Гистограмма β -распределенных значений оценок x_i показателей пяти моделируемых подсистем

Fig. 4. A histogram of β -distributed values of x_i assessments of indicators for five simulated subsystems

Значения выходных показателей (y) выборки вычислены в соответствии с выражением (2), для линейной его части, и принятыми модельными значениями весовых коэффициентов γ_g . Гистограмма величин оценок показателей y (объемом 1000 значений, соответствующих входным x_i) представлена на рис. 5.

Там же, на рис. 5, приведена и аппроксимация выходных величин в виде гауссова распределения, построенная с помощью метода наименьших квадратов и нормализованная. Как видно из рис. 5, нормальное распределение достаточно хорошо описывает значения случайных величин на верхнем уровне иерархии (BCO – РСЧС). Это объясняется известным из математической статистики [14–16] свойством нормализации суммы произвольно распределенных случайных величин. В данном примере это свойство проявляется уже для пяти взвешенных β -распределенных случайных величин.

Для дальнейшего решения поставленной обратной задачи была использована не вся выборка в 1000 наблюдений, а лишь 50 из них. Минимально приемлемый для практических приложений объем выборки в данной работе не определялся, так как требует большого объема статистических испытаний и может служить темой отдельного исследования.

Регрессионный анализ

Для построения модели, связывающей наблюдаемые входные значения x_i и отклик на них (y), был проведен регрессионный анализ (в среде MS Excel) по выборке переменного объема (от 1 до 50). Результаты анализа в виде диаграммы приведены на рис. 6, где в зависимости от объема выборки (шаги наблюдений) показана сходимость значений искомых оценок («Вес ПС i » — веса пяти подсистем, участву-

ющих в моделировании) к их модельным значениям («Мод. вес i »).

Кроме того, на рис. 6 приведены графики погрешности прогнозирования на основе регрессионной модели с текущими значениями оценок весов (коэффициентов модели) и значения коэффициента детерминации (R^2) модели (« R^2 »).

Погрешность вычислялась как абсолютное значение разности между прогнозным значением, построенным по текущей регрессионной модели, и значением отклика (y) текущего шага выборки. Видно, что прогностические свойства модели достаточно высокие, начиная уже с пятого шага,

и остаются в среднем около 5 % до конца наблюдений.

Значения коэффициентов регрессии также сходятся быстро и становятся достаточно стабильными уже с пятого шага, приближаясь к своим модельным значениям.

Значения коэффициента детерминации стабилизируются примерно с 35-го шага и остаются на уровне около значения $R^2 = 0,992$. Это значение обычно интерпретируется как то, что 99,2 % выборки можно объяснить с помощью построенной модели.

Итоговое уравнение регрессии с искомыми коэффициентами как весами γ_g , отражающими вклад



Рис. 5. Гистограмма значений выходных оценок y и ее гауссова аппроксимация

Fig. 5. A histogram of values of outgoing y assessments and its Gauss approximation

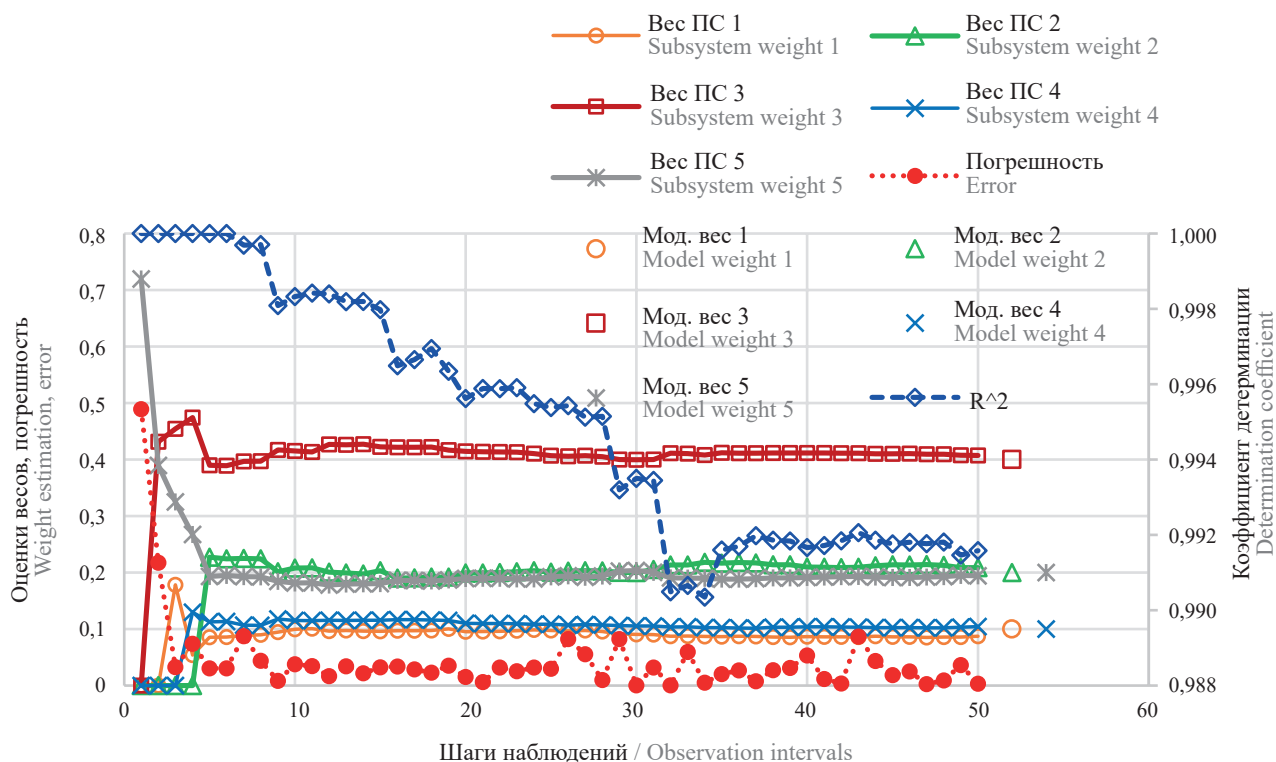


Рис. 6. Результаты регрессионного анализа с переменным объемом выборки

Fig. 6. Results of the regressive analysis with a variable scope of sampling

подсистем в общий эффект на уровне ВСО (РСЧС), и как результат решения обратной задачи, имеет вид:

$$y = 0,087x_1 + 0,209x_2 + 0,407x_3 + 0,104x_4 + 0,194x_5. (7)$$

Еще одной (кроме коэффициента детерминации) мерой близости полученной оценки к истинной (модельной, фактической) может служить относительная длина вектора разности векторов оценок и модели [14, 15]. Обе эти меры могут быть использованы для построения правила остановки итерационного процесса оценивания коэффициентов модели.

Это уравнение в дальнейшем может быть использовано и для решения прямой задачи (для рассматриваемого сценария) — оценивания показателя готовности на уровне РСЧС по показателям, полученным от нижележащих подсистем (ПВО). При этом уже не потребуется участие экспертов для определения весовых коэффициентов значимости той или иной подсистемы в общем эффекте, необходимо будет лишь тестировать звенья нижнего уровня.

В тех случаях, когда вычисленный таким образом показатель будет представляться его использующему ЛПР недостаточно адекватным, данное мнение ЛПР, как эксперта, может быть учтено для коррекции весов (этот алгоритм в работе не рассматривается) или для обновления весов описанная выше процедура может быть проделана вновь.

Обсуждение результатов

1. В работе рассмотрен лишь статический режим оценивания, позволяющий рассмотреть отдельные временные срезы. В дальнейших исследованиях важным представляется рассмотрение процессов в динамике их возникновения, а также их влияние на распределяемые общие ресурсы, которые могут оказаться в дефиците на отдельных интервалах времени. Важными представляются и вопросы динамики восстановления пополняемых (возобновляемых) ресурсов и оптимального распределения ограниченных финансовых средств при возникновении дефицита.

2. Поскольку на эффективность модели существенное влияние оказывает адекватность ее реальным процессам, то важной стороной модели должно стать представление в ней реальных динамических процессов развития ситуации. Один из подходов на этом пути может состоять в том, что предложенную в работе статическую модель можно использовать как ряд вариантов с различными текущими значениями параметров используемых ресурсов (см. табл. 2).

3. Предложенная настраиваемая полиномиальная модель (2) может служить основой для построения экспертной системы, необходимой для

мониторинга и управления силами и средствами при ликвидации сложных ЧС. Предложенная структура модели позволяет выполнить декомпозицию комплексного показателя эффективности и выявить те ведомства и их конкретные функциональные подсистемы, которые являются критическими звеньями в РСЧС на текущий момент времени.

4. Включение в состав РСЧС и тех резидентов, которые отражают экономические процессы в стране и мире (Минфин, Минэкономразвития и др.), позволит более комплексно оценивать складывающиеся ситуации, выявлять корреляционные связи различных социальных, экономических, техногенных и других процессов и прогнозировать ситуации в одних сферах по процессам, протекающим в других.

5. Для практического применения предложенных в работе моделей желательно знать и обоснованно предлагать минимальный объем выборки для решения обратной задачи оценивания весов, так как выборка отклика (выходные значения) строится в виде результатов экспертного оценивания, проводимого с привлечением квалифицированных экспертов. В данной работе минимально приемлемый для практического использования объем выборки не исследовался, это может служить темой отдельного исследования.

6. Представление интегрального показателя реагирования в виде квазинормального распределения (см. рис. 5) позволяет использовать его для поддержки принятия решений [7, 17–20] не только в виде оценки среднего значения, но и в виде квантильных оценок, обеспечивающих требуемый уровень доверительной вероятности.

Выводы

В современных условиях дестабилизирующие и деструктивные факторы становятся все более разнообразными и динамичными. Все чаще возникают ситуации их комплексного воздействия на процессы и объекты в стране. Это предъявляет и новые требования к системам экстренного реагирования на чрезвычайные ситуации. Большее значение должно уделяться средствам мониторинга и проактивного управления для обеспечения приемлемого уровня безопасности. И хотя случайный характер возникновения ЧС не дает возможности предусмотреть все возможные варианты, наличие адекватных инструментальных средств поддержки принятия решений может позволить минимизировать возможный ущерб.

Предложенный подход к построению модели оценивания эффективности реагирования иерархической системы по показателям готовности нижних уровней иерархии управления может служить основой для построения моделей прогнозирования эффективности реагирования. Модельные расчеты показали работоспособность такой модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Собянин С.С. Московское правительство о пожарной безопасности в столице в 2018–2019 гг. // Каталог «Пожарная безопасность». 2019. URL: <http://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/moskovskoe-pravitelstvo-o-pozharnoy-bezopasnosti-v-stolitse-v> (дата обращения 07.03.2021).
2. Найт Ф.Х. Риск, неопределенность и прибыль. М. : Дело, 2003. 360 с.
3. Брушлинский Н.Н., Шебеко Ю.Н., Болодьян И.А., Вагнер П., Глуховенко Ю.М., Гилетич А.Н. и др. Пожарные риски: динамика, управление, прогнозирование / под ред. Н.Н. Брушлинского, Ю.Н. Шебеко. М. : ВНИИПО, 2007. 370 с.
4. Vilisov V.Ya. Internal control tools used within hierarchical organizational structures // 2017 Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD). Moscow : IEEE Publ., 2017. С. 1–5. DOI: 10.1109/MLSD.2017.8109705 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109705/> (дата обращения 07.03.2021).
5. Lee H.-R., Lee T. Multi-agent reinforcement learning algorithm to solve a partially-observable multi-agent problem in disaster response // European Journal of Operational Research. 2021. Vol. 291. Issue 1. Pp. 296–308. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.09.018
6. Брушлинский Н.Н., Кленко Е.А., Попков С.Ю., Соколов С.В. Управление пожарной безопасностью субъектов Российской Федерации на основе анализа пожарных рисков // Проблемы пожарной безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2010. № 3. С. 104–114. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15121574>
7. Бедило М.В., Бутузов С.Ю., Прус Ю.В., Рыженко А.А., Чурсин Р.Г. Модель адаптивного управления оперативными службами РСЧС в чрезвычайных ситуациях межрегионального и федерального уровня // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 1 (71).
8. Овсяник А.И., Копнышев С.Л., Бурков В.Н., Щепкин А.В. О методике исследования достаточности мероприятий по обеспечению безопасности функционирования региона страны // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 2 (72). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/39-02-17.ttb.pdf> (дата обращения 07.03.2021).
9. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития. М. : Наука, 1993. 160 с.
10. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М. : Мир, 1973. 344 с.
11. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование. Экспертные оценки. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.
12. Ларичев О.И., Мошкочев Е.М. О возможностях получения от человека непротиворечивых оценок многомерных альтернатив // Дескриптивный подход к изучению процессов принятия решений при многих критериях : сб. тр. Вып. 9. М. : ВНИИСИ, 1980. С. 3–26.
13. Петровский А.Б. Теория принятия решений. М. : Издательский центр «Академия», 2009. 400 с.
14. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ / пер. с англ. В.П. Носко. М. : Мир, 1980. 456 с.
15. Stroh R., Bect J., Demeyer S., Fischer N., Vazquez E. Gaussian process modeling for stochastic multi-fidelity simulators, with application to fire safety. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1605.02561> (дата обращения 07.03.2021).
16. Hamke E.E., Jordan R., Ramon-Martinez M. Breath activity detection algorithm. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1602.07767> (дата обращения 07.03.2021).
17. Zhang X., Mahadevan S. Bayesian neural networks for flight trajectory prediction and safety assessment // Decision Support Systems. 2020. Vol. 131. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923620300014> (дата обращения 07.03.2021).
18. Taha H.A. Operations research: an introduction. 10th Global ed. Harlow (England): Pearson Education Limited, 2017. 848 p.
19. Fertier A., Barthe-Delanoë A.-M., Montarnal A., Truptil S., Bénaben F. A new emergency decision support system: the automatic interpretation and contextualisation of events to model a crisis situation in real-time // Decision Support Systems. 2020. Vol. 133. DOI: 10.1016/j.dss.2020.113260
20. Cavdur F., Sebatli A. A decision support tool for allocating temporary-disaster-response facilities // Decision Support Systems. Vol. 127. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113145>

REFERENCES

1. Sobyenin S.S. Moscow government on fire safety in the capital in 2018-2019. *Fire safety catalog*. 2019. URL: <http://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/moskovskoe-pravitelstvo-o-pozharnoy-bezopasnosti-v-stolitse-v> (Accessed: March 7, 2021). (rus).
2. Nayt F.Kh. *Risk, uncertainty and reward*. Moscow, Delo Publ., 2003; 360. (rus).
3. Brushlinsky N.N., Shebeko Yu.N., Bolodyap I.A., Wagner P., Glukhovenko Yu.M., Giletich A.N. et al. *Fire risks: dynamics, management, forecasting*. Moscow, VNIPO, 2007; 370. (rus).
4. Vilisov V.Ya. Internal control tools used within hierarchical organizational structures. *2017 Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD)*. Moscow, IEEE Publ., 2017; 1-5. DOI: 10.1109/MLSD.2017.8109705 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109705/> (Accessed: March 7, 2021).
5. Lee H.-R., Lee T. Multi-agent reinforcement learning algorithm to solve a partially-observable multi-agent problem in disaster response. *European Journal of Operational Research*. 2021; 291(1):296-308. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.09.018.
6. Brushlinskiy N.N., Klepko Ye.A., Popkov S.Yu., Sokolov S.V. Fire safety management of the constituent entities of the Russian Federation based on the analysis of fire risks. *Problemy pozharnoy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy/Fire safety and emergency problems*. 2010; 3:104-114. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15121574> (rus).
7. Bedilo M.V., Butuzov S.Yu., Prus Yu.V., Ryzhenko A.A., Chursin R.G. The model of adaptive management of operational services of RSChS in emergency situations of interregional and federal level. *Technology of Technosphere Safety*. 2017, no. 1(71). (rus).
8. Ovsyanik A.I., Kopnyshev S.L., Burkov V.N., Shchepkin A.V. The research methodology of sufficiency measures to ensure the safety functioning of the region. *Technology of Technosphere Safety*. 2017; 2(72). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/39-02-17.ttb.pdf> (Accessed: March 7, 2021). (rus).
9. Tsvirkun A.D., Akinfiyev V.K. *The structure of multilevel and large-scale systems. Synthesis and development planning*. Moscow, Nauka Publ., 1993; 160. (rus).
10. Mesarovich M., Mako D., Takakhara I. *Theory of hierarchical multilevel systems*. Moscow, Mir Publ., 1973; 344. (rus).
11. Orlov A.I. *Organizational and economic modeling. Expert assessments*. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, 2011; 486. (rus).
12. Larichev O.I., Moshkovich E.M. On the possibilities of obtaining from a person consistent estimates of multidimensional alternatives. *Descriptive approach to the study of decision-making processes under many criteria*. Issue 9. Moscow, VNIISI, 1980; 3-26. (rus).
13. Petrovskiy A.B. *Decision theory*. Moscow, Akademiya Publ., 2009; 400. (rus).
14. Seber J.A.F. *Linear regression analysis*. New York, 1977; 465.
15. Stroh R., Bect J., Demeyer S., Fischer N., Vazquez E. *Gaussian process modeling for stochastic multi-fidelity simulators, with application to fire safety*. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1605.02561> (Accessed: March 7, 2021).
16. Hamke E.E., Jordan R., Ramon-Martinez M. *Breath activity detection algorithm*. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1602.07767> (Accessed: March 7, 2021).
17. Zhang X., Mahadevan S. Bayesian neural networks for flight trajectory prediction and safety assessment. *Decision Support Systems*. 2020; 131. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923620300014> (Accessed: March 7, 2021).
18. Taha H.A. *Operations research: An introduction*. 10th Global ed., Harlow (England), Pearson Education Limited, 2017; 848.
19. Fertier A., Barthe-Delanoë A.-M., Montarnal A., Truptil S., Bénaben F. A new emergency decision support system: the automatic interpretation and contextualisation of events to model a crisis situation in real-time. *Decision Support Systems*. 2020; 133. DOI: 10.1016/j.dss.2020.113260
20. Cavdur F., Sebatli A. A decision support tool for allocating temporary-disaster-response facilities. *Decision Support Systems*. 2019; 127. DOI: 10.1016/j.dss.2019.113145

Поступила 28.06.2021, после доработки 27.07.2021;
принята к публикации 04.08.2021

Received June 28, 2021; Received in revised form July 27, 2021;

Accepted August 4, 2021

Информация об авторах

ТОПОЛЬСКИЙ Николай Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 114882; ORCID: 0000-0002-0921-4764; e-mail: ntopolskii@mail.ru

БУТУЗОВ Станислав Юрьевич, д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры информационных технологий, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 283236; ORCID: 0000-0003-0465-1903; e-mail: S.Butuzov@academygps.ru

ВИЛИСОВ Валерий Яковлевич, д-р эконом. наук, канд. техн. наук, профессор кафедры математики и естественно-научных дисциплин, Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова, Россия, 141070, г. Королёв, ул. Гагарина, 42; РИНЦ ID: 521423; Scopus Author ID: 57205441277; Researcher ID: P-1650-2019; ORCID: 0000-0002-2612-8593; e-mail: vilisov@ut-mo.ru

СЕМИКОВ Владимир Леонтьевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры управления и экономики ГПС, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 432977; ORCID: 0000-0001-6870-0562; e-mail: vlsemikov37@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Nikolay G. Topolsky, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of Department of Information Technology, The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 114882; ORCID: 0000-0002-0921-4764; e-mail: ntopolskii@mail.ru

Stanislav Yu. BUTUZOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor; Professor of Department of Information Technology, The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 283236; ORCID: 0000-0003-0465-1903; e-mail: S.Butuzov@academygps.ru

Valeriy Ya. VILISOV, Dr. Sci. (Econom.), Cand. Sci. (Eng.), Professor of Department of Mathematics and Natural Sciences, Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov, Gagarin St., 42, Korolev, 141070, Russian Federation; ID RISC: 521423; Scopus Author ID: 57205441277; Researcher ID: P-1650-2019; ORCID: 0000-0002-2612-8593; e-mail: vilisov@ut-mo.ru

Vladimir L. SEMIKOV, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation; Professor of Department of Management and Economics of the State Fire Service, The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 432977; ORCID: 0000-0001-6870-0562; e-mail: vlsemikov37@mail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.