

Методическое обеспечение мероприятий по прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера

Акимов В.А., *д. т. н., проф., заслуженный деятель науки Российской Федерации, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл. н. с. института, г. Москва, Россия*

SPIN-код: 8120-3446

Иванова Е.О., *ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. отдела, г. Москва, Россия*

SPIN-код: 5483-4886

Олтян И.Ю., *к. т. н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), уч. секретарь института, г. Москва, Россия*

SPIN-код: 3476-5213

Аннотация

В статье рассмотрено методическое обеспечение мероприятий по прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера.

Ключевые слова: методическое обеспечение; прогнозирование чрезвычайных ситуаций; природные чрезвычайные ситуации; техногенные чрезвычайные ситуации; биолого-социальные чрезвычайные ситуации.

Введение

Согласно [1] «предупреждение чрезвычайных ситуаций — это комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на сохранение здоровья людей, снижение

размеров ущерба окружающей среде и материальных потерь в случае их возникновения», а «прогнозирование чрезвычайных ситуаций — это опережающее отражение вероятности возникновения и развития чрезвычайной ситуации на основе анализа причин ее возникновения».

При этом прогнозирование чрезвычайных ситуаций (ЧС) является наиболее наукоемким элементом предупреждения ЧС и осуществляется, как правило, методом моделирования.

1. Моделирование природных чрезвычайных ситуаций

К основным ЧС природного характера относятся ЧС, источниками которых являются: опасные гидрологические явления, опасные метеорологические явления; опасные геофизические явления и крупные природные пожары.

Источниками природных ЧС являются опасные гидрологические явления и процессы, такие как наводнения, цунами, сели, лавины.

Ключевым поражающим фактором наводнения является зона затопления. Для расчета зоны воздействия наводнения требуется характеристика речного стока, включая прогноз глубины течения, скорости течения и протяженности паводка.

Из большого числа существующих в мире моделей формирования стока и динамики русло-пойменных потоков наиболее распространенной в отечественной практике является модель ЕСОМАГ [2].

В [3] в качестве математической основы моделирования наводнений используются байесовские классификаторы.

После определения максимально допустимого среднесезонного уровня подъема воды в наблюдаемой реке-створе осуществляется контроль поступающих мониторинговых данных на предмет выявления признаков наводнения или катастрофического затопления местности.

Численность населения, попавшего в зону затопления ($N_{зт}^{нп}$, чел.) следует определять по формуле:

$$N_{зт}^{нп} = \sum_1^i \frac{S_{здан}^{зт} h_{зд}}{\rho_{п/ж}^{зт}} \partial_t^i, \quad (1)$$

где:

$S_{здан}^{зт}$ — площадь затопленного здания, м²;

$h_{\text{зд}}$ — этажность зданий и сооружений, м;
 i — жилые, социально значимые, административные и производственные здания;
 $\rho_{\text{п/ж}}^{\text{зт}}$ — параметр, характеризующий примерную расчетную площадь, приходящуюся на одного пострадавшего в зоне наводнения, м²/чел.;
 t — время суток, ч;
 ∂_t^i — доля населения, пребывающая в зависимости от времени суток в соответствующих зданиях и сооружениях.

Источниками природных ЧС являются опасные метеорологические явления и процессы, такие как сильный ветер, вихрь, ураган, циклон, тайфун, шторм, смерч, шквал, продолжительный дождь, гроза, ливень, град, сильный снегопад, ледяной дождь, гололед, сильная метель, туман, пыльная буря, волны тепла или холода, суховей, засуха [4].

Основным прогностическим инструментом опасных метеорологических явлений (ОЯ) сегодня становятся численные модели атмосферы: они успешно воспроизводят многие свойства атмосферы и становятся все более совершенными. Прогностическая модель атмосферы — сложный программный комплекс, который решает систему уравнений, описывающую эволюцию атмосферы, т. е. рассчитывает температуру, влажность, ветер и другие параметры на разных высотах в различных точках земного шара. В модели учитываются процессы термогидродинамики, преобразований влаги, радиационно-облачные взаимодействия, сложные процессы в пограничном слое атмосферы и на границе с ее подстилающей поверхностью и т. д.

Проблема предсказуемости стала осознаваться уже после первых численных экспериментов по моделированию эволюции атмосферы на долгие сроки. Еще в 50-х годах было показано, что сколь угодно малые погрешности задания начальных данных для расчета прогноза с течением времени трансформируются в большие ошибки (аттрактор Э. Лоренца).

Источниками природных ЧС являются опасные геофизические явления и процессы, такие как землетрясение, вулкан, обвал, оползень, карст [5].

Успешное прогнозирование катастрофических землетрясений подразумевает последовательное пошаговое определение, позволяющее

сузить временной интервал, область местоположения и диапазон магнитуд готовящегося землетрясения. В [6] для прогнозирования таких ЧС предложены методы статистической обработки данных, основанные на теореме Байеса.

Для расчетов параметров сейсмического воздействия землетрясения необходимо осуществить разбивку территорий населенных пунктов на однородные по площадным характеристикам площадки в виде регулярной сетки сейсморайона. Значения координат площадок принимаются равными значениям координат их центров (x, y) .

Тогда вероятность попадания случайной величины интенсивности I на отрезок (I_{\min}, I_{\max}) определяется по формуле:

$$P(I_{\min} < I < I_{\max}) = \int_{I_{\min}}^{I_{\max}} f(I) dI. \quad (2)$$

Функцию распределения случайной величины $F(x, y, I)$ следует вычислять по формуле:

$$F(x, y, I) = \int_{-\infty}^I f(x, y, I) dI. \quad (3)$$

Полученный параметр интенсивности (I) для каждой площадки (ячейки матрицы регулярной сетки) с координатами (x, y) подлежит оценке в модели среднесрочного прогнозирования землетрясений.

Проблема прогнозирования параметров лесных пожаров и оценки их последствий не получила своего удовлетворительного решения, несмотря на ее важность для различных отраслей народного хозяйства России. Трудности решения этой проблемы обусловлены: сложным характером и изменчивостью поведения пожаров, а тем более многодневных лесных пожаров, которые развиваются на большой площади в изменяющихся природных и погодных условиях; недостаточностью или неточностью информации о характеристиках леса, топографии местности, локальных метеоданных; не всегда достоверной отчетной информацией, поступающей с мест [7].

В [8] в качестве математической основы моделирования лесных пожаров предложены байесовские классификаторы.

Длину кромки лесного пожара ($D_{\text{кромки}}$, м) через время, соответствующее шагу прогноза, следует определять по формуле:

$$D_{\text{кромки}} = 0,5 \cdot \sqrt{S \cdot 10000}, \text{ м}, \quad (4)$$

где:

S — площадь лесного пожара, га.

Доля контролируемой территории с высоким уровнем угрозы возникновения и распространения лесного пожара ($P_{\text{В}}$) определяется по формуле:

$$P_{\text{В}} = n_3 \frac{S_{\text{ЛП}}^{3\text{В}}}{S_{\text{КТ}}}, \quad (5)$$

где:

$S_{\text{ЛП}}^{3\text{В}}$ — площадь ячейки матрицы регулярной сетки с высоким уровнем угрозы по гипотезе № 3, га;

$S_{\text{КТ}}$ — общая площадь регулярной сетки для КТ, га;

n_3 — количество ячеек матрицы регулярной сетки с высоким уровнем угрозы по гипотезе № 3, ед.

Под «гипотезой № 3» понимается возможность возникновения и распространения лесного пожара на контролируемой территории в течение ближайших 10 суток.

2. Моделирование техногенных чрезвычайных ситуаций

По степени катастрофичности в Российской Федерации можно выделить следующие ЧС техногенного характера [9]: дорожно-транспортные происшествия (ДТП); авиационные катастрофы; взрывы в зданиях и сооружениях; радиационные и химические аварии; аварии на объектах и сетях систем тепло- и электроснабжения.

Такие техногенные ЧС, как: дорожно-транспортные происшествия, авиационные катастрофы, взрывы в зданиях и сооружениях и некоторые другие, могут изучаться вероятностно-статистическими

методами, в частности, методом статистической обработки данных, основанном на теореме Байеса [10], в соответствии с которой:

$$P(H|e) = P(e|H)P(H)/P(e), \quad (6)$$

где:

H — гипотеза;

e — свидетельство;

$P(H/e)$ — апостериорная вероятность;

$P(H)$ — априорная вероятность.

Методик, позволяющих оперативно в режиме реального времени проводить достоверный прогноз радиационной обстановки и ее последствий для различных типов РОО и которые были бы верифицированы и стандартизованы, в настоящее время нет. Существующие исследовательские методики требуют знаний особенностей протекания физических процессов, технологии и технической реализации в системах и установках РОО и при этом ограничены целым рядом допущений, малой вероятностью и точностью конечных результатов.

В качестве стандартизованной методики оперативного прогнозирования обстановки при запроектной аварии на АЭС рекомендован ГОСТ Р 22.2.11-2018 «БЧС. Методика оценки радиационной обстановки при запроектной аварии на атомной станции». Эта методика предназначена для оценки радиационной обстановки при запроектной аварии на АЭС с реакторами типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и РБМК-1000 методом прогнозирования.

Для заблаговременного и оперативного прогнозирования масштабов заражения на случай выброса сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) в окружающую среду при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте используется «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте (РД 52.04.253-90)».

Данная Методика позволяет осуществлять прогнозирование масштабов зон заражения при авариях на технологических емкостях и хранилищах, при транспортировке железнодорожным, трубопроводным и другими видами транспорта, а также в случаях разрушения химически опасных объектов. Методика распространяется на случай выброса

СДЯВ в атмосферу в газообразном, парообразном или аэрозольном состоянии. При этом масштабы заражения СДЯВ, в зависимости от их физических свойств и агрегатного состояния, рассчитываются для первичного и вторичного облаков: для сжиженных газов — отдельно для первичного и вторичного облаков; для сжатых газов — только для первичного облака; для ядовитых жидкостей, кипящих выше температуры окружающей среды, — только для вторичного облака.

Основные расчетные зависимости определения показателей надежности теплоснабжения потребителя, присоединенного к тепловой сети системы теплоснабжения, представлены в [11].

Так, при наличии статистических данных расчет интенсивности отказов участка ТС (λ_i , 1/км/ч) осуществляется по формуле:

$$\lambda_i = \frac{n_{откi}}{8760 * L_i}, \quad (7)$$

где:

$n_{откi}$ — количество отказов на i -ом участке ТС за предыдущий год, ед.;

L_i — протяженность i -ого участка ТС, км.

При отсутствии статистических данных расчет интенсивности отказов участка ТС производится следующим образом:

$$\lambda_i = \lambda_{нач} (0,1\tau_i^{эксп})^{a_i - 1}, \quad (8)$$

где:

$\lambda_{нач}$ — интенсивность отказов участка ТС, соответствующая начальному периоду эксплуатации, 1/км/год;

$\tau_i^{эксп}$ — продолжительность эксплуатации участка ТС, лет;

a_i — коэффициент, учитывающий продолжительность эксплуатации участка ТС.

С целью эффективного проведения аварийно-восстановительных работ по устранению устойчивого повреждения оборудования, возникшего в результате аварии на системе электроснабжения, для каждого обесточенного потребителя электрической энергии важно определить индекс приоритета восстановления электроснабжения (далее — индекс).

Для определения индекса необходимо знать: перечень трансформаторных подстанций (ТП), обесточенных в результате повреждений электросетевых объектов; перечень потребителей электрической энергии, которые подключены к обесточенным ТП; сведения о наличии у этих потребителей автономных резервных источников питания и запасов для обеспечения их работы.

Обобщенный индекс важности потребителей, подключенных к j -ой обесточенной ТП, определяется по формуле [12]:

$$I_j^B = 0,8 \sum_{i=1}^n K_i^B + 0,2 \sum_{i=1}^n K_i^L, \quad (9)$$

где:

K_i^B — коэффициент относительной важности i -ого потребителя, подключенного к j -ой обесточенной ТП;

K_i^L — коэффициент, учитывающий численность людей в зданиях i -ого потребителя, подключенного к j -ой обесточенной ТП;

0,8 и 0,2 — коэффициенты, учитывающие важность критериев K_i^B и K_i^L соответственно;

n — количество потребителей, подключенных к j -ой обесточенной ТП.

3. Моделирование биолого-социальных чрезвычайных ситуаций

В [13] показана принципиальная возможность построения компьютерной модели развития чрезвычайной ситуации биолого-социального характера с использованием эпидемиологической модели SIR и системы компьютерной алгебры Mathematica.

К показателям обеспеченности ресурсами системы оказания медицинской помощи на территории населенного пункта (НП) в период распространения эпидемии относятся [14]: показатель обеспеченности коечным фондом госпитализированных инфекционных больных; показатель обеспеченности кислородными концентраторами; показатель обеспеченности коечным фондом интенсивной терапии; показатель обеспеченности аппаратами ИВЛ (или аналогичными аппаратами);

показатель обеспеченности медучреждений старшим медицинским персоналом; показатель обеспеченности медучреждений средним медицинским персоналом.

Показатель обеспеченности коечным фондом госпитализированных инфекционных больных ($I_{иб}$) определяется по формуле [15]:

$$I_{иб} = \frac{K_{к.ил}}{K_{ги}}, \quad (10)$$

где:

$K_{к.ил}$ — количество коек для госпитализированных инфекционных больных, ед.;

$K_{ги}$ — общая численность госпитализированных инфекционных больных, чел.

Показатель обеспеченности кислородными концентраторами ($I_{кк}$) определяется по формуле:

$$I_{кк} = \frac{K_{к.ил}}{K_{ги}}, \quad (11)$$

где:

$K_{к.кк}$ — количество кислородных концентраторов, ед.;

$K_{кк}$ — общая численность госпитализированных, инфицированных РВЗ, с необходимостью кислородного обеспечения, чел.

Показатель обеспеченности коечным фондом интенсивной терапии ($I_{ит}$) определяется по формуле:

$$I_{ит} = \frac{K_{к.ит}}{K_{тб}}, \quad (12)$$

где:

$K_{к.ит}$ — количество коек в отделении реанимации и интенсивной терапии (далее — ОриИТ), ед.;

$K_{тб}$ — общая численность госпитализированных инфекционных больных в ОриИТ, чел.

Показатель обеспеченности аппаратами ИВЛ (или аналогичными аппаратами) ($I_{\text{ИВЛ}}$) определяется по формуле:

$$I_{\text{ИВЛ}} = \frac{K_{\text{а. ИВЛ}}}{K_{\text{ИВЛ}}}, \quad (13)$$

где:

$K_{\text{а.ИВЛ}}$ — количество аппаратов ИВЛ (или аналогичных аппаратов), ед.;

$K_{\text{ИВЛ}}$ — общая численность госпитализированных инфекционных больных с необходимостью подключения к аппаратам ИВЛ (или аналогичным аппаратам), чел.

Заключение

Таким образом, в статье рассмотрено методическое обеспечение мероприятий по прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера.

Список использованных источников

1. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 № 68-ФЗ (последняя редакция).
2. Мотовилов Ю.Г., Гельфан А. Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: ИВП РАН, 2018. 300 с.
3. Акимов В. А. Опасные гидрологические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: вербальная модель / В. А. Акимов, М. В. Бедило, С. П. Суцев // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 4(70). С. 4–8. DOI 10.54234/CST.19968493.2021.18.4.70.1.4. EDN: EVUUFA.
4. Акимов В. А. Опасные метеорологические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: вербальная модель / В. А. Акимов, М. В. Бедило, С. П. Суцев // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 4(70). С. 14–18. DOI 10.54234/CST.19968493.2021.18.4.70.3.14. EDN: QFYBPS.
5. Акимов В. А. Опасные геофизические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: модель среднесрочного прогнозирования землетрясений / В. А. Акимов, М. В. Бедило, Е. О. Иванова // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 1(71). С. 20–23. DOI 10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71.4.20. EDN: QICTLF.

6. Прогнозно-аналитические решения по природным, техногенным и биолого-социальным угрозам единой системы информационно-аналитического обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и общественного порядка «Безопасный город» / В.А. Акимов, А.В. Мишурный, О.В. Якимюк и др. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022. 315 с. ISBN 978 -5-93970-278-2. EDN: MGXNYI.
7. Кулешов А.А. Математические модели лесных пожаров // Математическое моделирование. 2002. т. 14. № 11. С. 33–42.
8. Акимов В.А. Крупные природные пожары как источники чрезвычайных ситуаций природного характера / В.А. Акимов, М.В. Бедило, Е.О. Иванова // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 2(72). С. 11–13. DOI 10.54234/CST.19968493.2022.19.2.72.2.11. EDN: PGJCMG.
9. Акимов В.А. Методика ранжирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера по степени их катастрофичности / В.А. Акимов, И.Ю. Олтян, Е.О. Иванова // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 1(67). С. 4–7. DOI 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.1.4. EDN: IOGGXC.
10. Акимов В.А. Приложения общей теории безопасности к исследованию чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 5. С. 13–28. DOI 10.54234/CST.19968493.2021.18.5.2.13. EDN: LRYKFU.
11. Акимов В.А. Математические модели прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного характера / В.А. Акимов, Е.О. Иванова, Ю.А. Шишков // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны в Год 90-летия со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти ч., Москва, 1 марта 2023 года. Ч. II. М.: АГПС МЧС России, 2023. С. 126–133. EDN: UIZLCO.
12. Акимов В.А. Определение индекса приоритета восстановления электроснабжения / В.А. Акимов, Е.О. Иванова, Ю.А. Шишков // Применение математических методов к решению задач МЧС России: Сб. трудов секции № 14 XXXIII Международной научно-практической конференции, Химки, 1 марта 2023 года. Химки: АГЗ МЧС России, 2023. С. 14–17. EDN: НХСФJH.
13. Акимов В.А. Нелинейная наука для исследования аварий, катастроф и стихийных бедствий / В.А. Акимов, С.Л. Диденко, И.Ю. Олтян. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2020. 134 с. ISBN978-5-93970-250-8. EDN: GYVVPY.
14. Акимов В.А. Математические модели прогнозирования последствий массовых заболеваний людей / В.А. Акимов, Е.О. Иванова, О.А. Дерендяева // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В Год 90-летия со дня

образования Академии ГПС МЧС России: в 5 ч., Москва, 1 марта 2023 года. Часть 5. М.: АГПС МЧС России, 2023. С. 227–233. EDN: TLQAQX.

15. Акимов В.А. Определение показателей обеспеченности ресурсами системы оказания медицинской помощи и показателей смертности в период распространения эпидемии / В.А. Акимов, О.А. Дерендяева, Е.О. Иванова // Применение математических методов к решению задач МЧС России: Сборник трудов секции № 14 XXXIII Международной научно-практической конференции, Химки, 1 марта 2023 года. Химки: АГЗ МЧС России, 2023. С. 18–22. EDN: ETMRTH.