

УДК 004.021
DOI: 10.15827/0236-235X.134.307-315

Дата подачи статьи: 31.01.21
2021. Т. 34. № 2. С. 307–315

Автоматизированная система поддержки принятия решений для прогнозирования процессов рассеивания химически опасных веществ

Л.О. Чернышев¹, аспирант, plumber63@mail.ru

Ю.Н. Матвеев¹, д.т.н., профессор, matveev4700@mail.ru

¹ Тверской государственный технический университет, г. Тверь, 170026, Россия

В статье рассматривается подход к разработке системы поддержки принятия решений для прогнозирования процессов рассеивания и осаждения выброса аварийно химически опасных веществ с учетом данных оперативного мониторинга. Определены особенности и факторы, снижающие эффективность функционирования супервизорных систем при ликвидации последствий аварии, большинство из которых реализованы на аппаратных платформах средней вычислительной мощности, не обладают мобильностью и автономностью, достаточной для использования на рабочем месте при выбросах токсичных химических веществ, и не обеспечивают автоматическую корректировку параметров модели по данным оперативного мониторинга.

Кратко описана обобщенная схема принятия решений с учетом данных оценки химического заражения, содержащая процедуры мониторинга состояния объекта и прогнозного моделирования и предназначенная для расчета пространственных границ поражающего действия токсических веществ, наиболее приближенных к фактическим данным химического заражения. Сформулирована математическая постановка задачи ассимиляции данных наблюдений. Для корректировки параметров модели прогноза использован функционал, характеризующий степень отклонения результатов моделирования от данных мониторинга. Критериальная оценка функционала детализирована для единичных и множественных показаний датчиков в режиме реального времени.

Детализирована структурная схема системы поддержки принятия решений, которая содержит модули ввода априорных данных, расчета модели, топографической привязки объектов, оптимизации, визуализации и анализа чрезвычайной ситуации. На условном примере рассмотрены результаты работы системы поддержки принятия решений. При разработке программного макета использованы Microsoft Visual Studio (язык программирования C#), фрагмент цифровой карты, графические средства .NET Framework.

Ключевые слова: *принятие решений, чрезвычайная ситуация, мониторинг, прогнозное моделирование, оперативное управление, C#, .NET Framework.*

Развитие промышленного потенциала нашей страны привело к появлению целого ряда источников техногенной опасности, связанных с использованием аварийно химически опасных веществ, выбросы которых способны привести к негативным последствиям и загрязнению окружающей среды. Существующие в настоящее время подходы к количественному обоснованию решений, принимаемых при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связаны с разработкой *систем поддержки принятия решений* (СППР), которые в супервизорном режиме предоставляют лицу, принимающему решение, прогнозные оценки масштаба и степени заражения прилегающей территории из-за выбросов или проливов аварийно химически опасных веществ [1].

Следует выделить особенности и факторы, снижающие эффективность функционирова-

ния современных СППР при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

1. Особенности программно-технической реализации. Большинство систем реализованы на аппаратных платформах средней вычислительной мощности и не обладают мобильностью и автономностью, достаточной для эффективного использования на рабочем месте при выбросах *токсичных химических веществ* (ТХВ).

2. Человеческий фактор. Современные системы автоматизации, как правило, содержат технические системы контроля, позволяющие частично распознать утечку ТХВ. Однако на верхнем уровне управления основная роль отводится оператору-технологу, который принимает субъективные решения в аварийных ситуациях с использованием СППР.

3. Отсутствие обратной связи. В алгоритме функционирования СППР должна быть преду-

смотрена возможность автоматической корректировки параметров модели по данным оперативного мониторинга в режиме реального времени.

В силу этого разработана СППР, в структуре которой предусмотрена функция корректировки параметров прогнозной модели, представляется актуальной для оперативного реагирования на техногенные аварии, особенно в случаях нарушений сетевого обмена, повреждения каналов связи и отключения электропитания оборудования.

Обобщенная схема обработки аварийной ситуации

Обобщенная схема обработки аварийной ситуации для оперативного реагирования с учетом данных химического заражения (рис. 1) охватывает процедуры мониторинга состояния объекта (блок 1) и прогнозного моделирования (блок 2) [2, 3].

На стадии мониторинга, после топологической привязки датчиков наблюдения (блок 1.1), осуществляется комплекс мероприятий, связанных с расчетом периода опроса датчиков (блок 1.2) и разрешением вопросов организации программно-аппаратного интерфейса между датчиками и платформой СППР. Если такой интерфейс отсутствует, то данные о концентрации ТХВ в местах наблюдений $C_i^d(x, y, z, t)$ (блок 1.2) и координаты расположения датчиков (x, y, z) поступают в СППР в ручном режиме. На стадии моделирования априорные данные по аварии (блок 2.1) используются при расчете параметров модели (блок 2.2), которые служат основой для построения полей концентраций и вычисления площади поражения ТХВ (блок 2.3). С учетом координат расположения датчиков наблюдений осуществляется расчет концентрации ТХВ в местах наблюдений $C_i^m(x, y, z, t)$ (блок 2.4).

Далее осуществляется расчет отклонения Δ значений концентрации ТХВ в местах наблюдений $C_i^d(x, y, z, t)$ и модельных значений $C_i^m(x, y, z, t)$:

$$\Delta = \|C_i^d(x, y, z, t); C_i^m(x, y, z, t)\|. \quad (1)$$

Если численное значение Δ не превышает величину допустимого порога Δ^* , то есть $\Delta \leq \Delta^*$, априорные данные для прогноза заданы достаточно точно и результаты визуализации полей концентраций и площади поражения ТХВ (блок 5) могут быть использованы для принятия решения по ликвидации последствий аварии на объекте (блок 7). При нарушении

условия необходимо уточнение параметров модели на основе апостериорной информации, полученной в блоке 6.

Неточности и погрешности первичной оценки площади опасной зоны загрязнения (ОЗЗ) – основные причины ошибок принятия решений при ликвидации последствий аварии, поэтому показателем эффективности оптимизационной задачи является минимум суммарного отклонения результатов полевых измерений от выходных данных моделирования в точках их наблюдения.

Для постановки и решения оптимизационной задачи необходимо определить объект оптимизации, функцию оценки его состояния и набор управляющих параметров, способных изменить состояние объекта в соответствии с определенными правилами.

Модели для расчета концентрации и параметров диффузии ТХВ

Во время фазы оперативного реагирования для расчета площади поражения (блок 2.3) использовано уравнение Гаусса [4–6], которое при непрерывном точечном выбросе ТХВ и постоянной скорости ветра описывается выражением

$$C(x, y, z, p, z_0) = \frac{Q^*}{2\pi\sigma_y(x, p, z_0)\sigma_z(x, z_0)\bar{u}} \times \exp\left[-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2(x, p, z_0)}\right] \times \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x, z_0)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2(x, z_0)}\right)\right], \quad (2)$$

где $C(x, y, z, p, z_0)$ – концентрация ТХВ ($\text{г}/\text{м}^3$); y_0 – координата источника выброса (м); Q – величина выброса ($\text{г}/\text{с}$); x, y, z – координаты точек расчета концентрации; \bar{u} – средняя скорость ветра ($\text{м}/\text{с}$); h – высота источника аварийно химически опасных веществ (м); p – категория устойчивости атмосферы; z_0 – коэффициент шероховатости; σ_z и σ_y – параметры диффузии, характеризующие вертикальные и горизонтальные отклонения гауссовского распределения концентрации в зависимости от расстояния вдоль оси выброса; величина $Q^* = Qf_Ff_W$ рассчитывается с учетом поправок на обеднение облака; f_F и f_W – коэффициенты сухого и влажного осадений примеси.

Из уравнения (2) следует, что концентрация примеси $C(x, y, z, p, z_0)$ существенно зависит от параметров вертикальной (σ_z) и горизонтальной (σ_y) диффузий, способы оценки которых

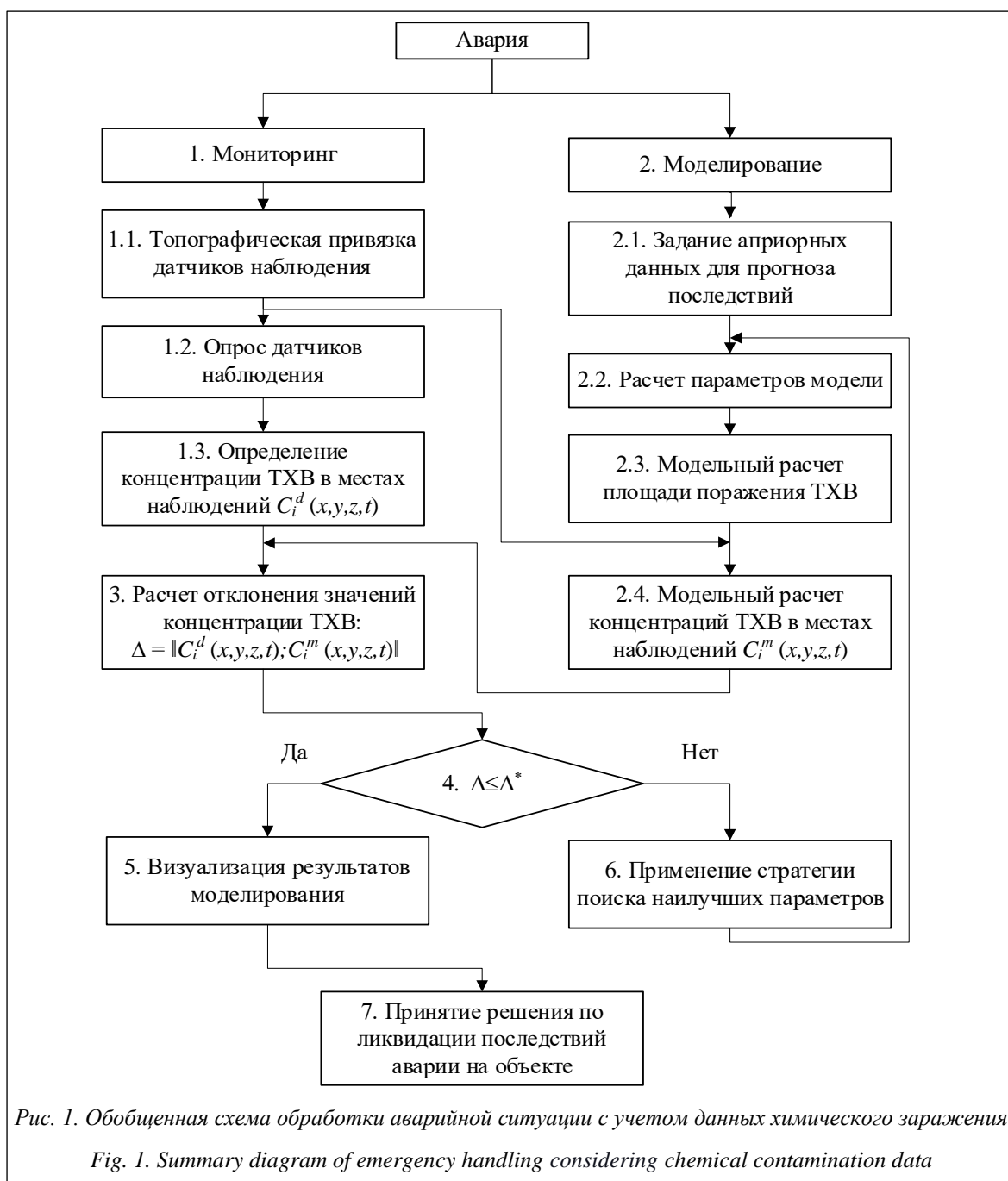


Рис. 1. Обобщенная схема обработки аварийной ситуации с учетом данных химического заражения

Fig. 1. Summary diagram of emergency handling considering chemical contamination data

определяются классификацией погодных условий и характеристиками прилегающей местности.

В блоке 2.2 при расчете параметров вертикальной дисперсии струи примеси (σ_z) применены дисперсионные кривые Смита–Хоскера, при определении параметров горизонтальной дисперсии (σ_y) – формулы Бригса, которые наиболее часто используются в инженерной практике.

Анализ моделей Смита–Хоскера и Бригса показал, что при расчете коэффициентов дис-

персии σ_y и σ_z может быть использован метод кусочно-квадратичной интерполяции табличных данных, а к управляющим параметрам в уравнении Гаусса (2) следует отнести величину выброса Q^* , коэффициент шероховатости z_0 и параметр устойчивости атмосферы p .

Целевая функция подбора параметров

При расчете отклонения значений концентрации ТХВ в блоке 3 учитывалось, что для критериальной оценки ассимиляции (усвое-

ния) данных наблюдений может быть использован функционал Δ (1), который характеризует степень отклонения результатов моделирования $C_i^m(x, y, z, t)$ от данных мониторинга $C_i^d(x, y, z, t)$ [7, 8]. Поэтому подбор параметров модели блока 2.3 связан с решением задачи минимизации отклонения Δ на всем множестве допустимых значений. Математическая постановка задачи ассимиляции данных наблюдений имеет следующий вид [8].

На основе результатов мониторинга $C_i^d(x, y, z, t)$ и задания априорных и неизменяемых в ходе прогноза $C_i^m(x, y, z, t)$ параметров $P_{\text{const}} = \{P_2, P_3\}$ вычислить оптимизируемые параметры $P_{\text{var}} = \{P_1, P_4, P_5\}$ модели Гаусса (2), которые доставляют минимум целевой функции

$$\Delta = \|C_i^d(x, y, z, t); C_i^m(x, y, z, t)\| \rightarrow \min \quad (3)$$

при ограничениях $C_i^m(x, y, z, t) \geq C_{\text{К}}^*$, $x_{1\text{н}} \leq x \leq x_{1\text{к}}$, $y_{\text{н}} \leq y \leq y_{\text{к}}$, $0 \leq z \leq H^{\text{max}}$, $t_{\text{н}} \leq t \leq t_{\text{к}}$, $P_m^{\text{min}} \leq P_m \leq P_m^{\text{max}}$, $m = \overline{1,5}$, где $P_1 = Q^*$ – величина выброса ТХВ; $P_2 = u$ – скорость ветра вдоль оси выброса; $P_3 = \{x_q, y_q, z_q\}$ – координаты и высота расположения источника выброса q ; $P_4 = p$ – устойчивость атмосферы; $P_5 = z_0$ – коэффициент шероховатости; $C_{\text{БК}}^*$ – порог безопасной концентрации ТХВ; H^{max} – граница ОЗЗ по оси Oz ; величины $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{к}}$ задают интервал расчета; индексы «н» и «к» обозначают начало и конец процедуры расчета площади $S_{\text{ОЗЗ}}$. В соответствии с санитарно-эпидемиологическими рекомендациями $0,5 \leq P_4 = p \leq 6,5$ и $0,01 \leq P_5 = z_0 \leq 4$.

Вид функционала Δ в задаче (3) зависит от варианта реализации процедуры мониторинга. В случае единичных наблюдений для приблизительной оценки площади $S_{\text{ОЗЗ}}$ может быть использована критериальная оценка Δ_0 следующего вида:

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^N (a_i | F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_n, x_i) - C_i |), \quad (4)$$

где N – количество датчиков, определяющих концентрацию ТХВ в атмосфере; i – номер датчика; x_i – координаты датчика относительно источника выброса q ; F – модель подбора параметров P_j ($j = \overline{1, m}$) в точке x_i ; C_i – результаты работы i -го устройства измерения; a_i – весовой коэффициент, характеризующий погрешность измерения i -го устройства. Датчику d_i с высокой погрешностью соответствует низкий уровень весового коэффициента a_i , сумма всех коэффициентов равна единице.

При доступности показаний датчиков в режиме реального времени, для уточнения коэф-

фициентов дисперсии, входящих в модель Гаусса, и коррекции площади выброса аварийно химически опасных веществ применима критериальная оценка Δ , учитывающая отклонения по всему ряду наблюдений.

Применение аналитических методов для решения задачи нелинейного программирования (3) связано со значительными сложностями вычислительного характера в каждой конкретной чрезвычайной ситуации, поэтому при поиске минимума целевой функции целесообразно использовать эвристические процедуры и вычислительные методы [9]. Отсутствие априорной информации в данном случае ограничивает эффективность применения традиционных методов оптимизации (опорных векторов, нейронных сетей), основанных на обучающей выборке. Простые алгоритмы оптимизации (например, градиентного спуска или симплексного планирования) могут застрять в локальном экстремуме целевой функции Δ , поэтому при подборе параметров P_{var} необходимо использовать направленные алгоритмы поиска глобальных экстремумов (равномерный поиск, эволюционные алгоритмы).

Структурная схема СППР

При разработке СППР необходимо учесть следующие эксплуатационные требования:

- мобильность и автономность исполнения для эффективного использования на рабочем месте при аварийных выбросах опасных химических веществ;
- наличие дружественного и доступного для рядового оператора интерфейса визуализации ОЗЗ и оценки полей концентрации ТХВ при моделировании сценариев аварии;
- работоспособность при ограниченной размерности входных данных, высокое быстродействие, использование простых и универсальных алгоритмов моделирования для приблизительной оценки оперативной обстановки в первые часы после аварии;
- возможность автоматической корректировки параметров модели по данным оперативного мониторинга в режиме реального времени.

Прогнозные оценки масштаба и степени заражения прилегающей территории, формируемые СППР, являются основой для принятия мер оперативного реагирования на инцидент (решений о составе технических средств защиты, об укрытии персонала или эвакуации

населения из пострадавших районов, об организации полевых пунктов наблюдения). По мере накопления апостериорных данных и информации о масштабе аварии первичные оценки и прогнозы могут быть скорректированы с применением более сложных алгоритмов моделирования, что приведет к уточнению размеров пораженных зон для принятия контрмер в отдаленных районах.

Структурная схема СППР приведена на рисунке 2.

В структурной схеме прототипа (рис. 2) модуль расчета модели непосредственно реализует алгоритм моделирования (2) и формирует результирующие данные полей концентрации ТХВ $C_i^m(x, y, z, t)$ на месте чрезвычайной ситуации. Функционирование модуля основано на информации модуля ввода априорных данных, задающего начальные значения параметров модели (метеорологические данные, скорость и направление ветра), и справочных данных БД параметров источника (сведения о свойствах аварийно химически опасных веществ, диаметре отверстия (разрыва), геометрии контейнера, температуре и давлении рабочей среды в состоянии покоя).

Данные подсистемы мониторинга, содержащие сведения о координатах расположения датчиков наблюдений и результаты измерения концентрации ТХВ в местах наблюдений $C_i^d(x, y, z, t)$, поступают в модули оптимизации и топографической привязки датчиков.

В модуле оптимизации, который реализует алгоритмы глобального поиска и настройки параметров модели (Смита–Хоскера и Бригса), на основании данных системы мониторинга и модуля расчета модели осуществляется подбор

параметров P_{var} по минимуму критериальной оценки Δ_0 . После оптимизации модели рассеивания аварийно химически опасных веществ результаты работы модели (с наилучшими параметрами) передаются в модуль визуализации.

В модуле визуализации на цифровой карте местности, импортируемой из БД ГИС, отображаются результирующие данные модели (границы ОЗЗ) с учетом топографической привязки датчиков мониторинга. В модуле анализа чрезвычайной ситуации формируется сводная информация, составленная по результатам моделирования.

Результаты моделирования

Для демонстрации рассмотренного подхода на языке C# в среде Microsoft Visual Studio был разработан программный макет, реализующий функционалы модулей, входящих в структуру СППР (рис. 2). Пользовательский интерфейс программы и результаты моделирования ОЗЗ представлены на рисунке 3. Результаты моделирования с учетом данных мониторинга приведены на рисунке 4.

Функции ввода-вывода программы реализованы на основе интерфейса программирования приложений Windows Forms. Левая часть главного окна программы содержит: область мониторинга (параметров наблюдения) с рабочими полями для ввода координат источника; область параметров источника выброса (характеристик источника, метеорологических данных и коэффициента шероховатости); область параметров визуализации, необходимых для расчета и отображения полей концентрации

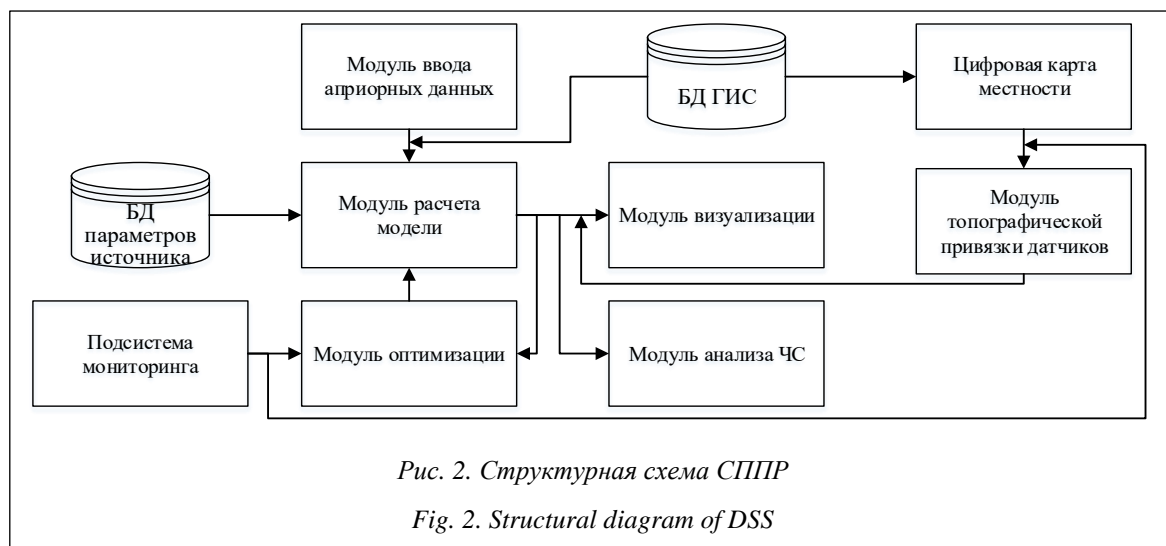
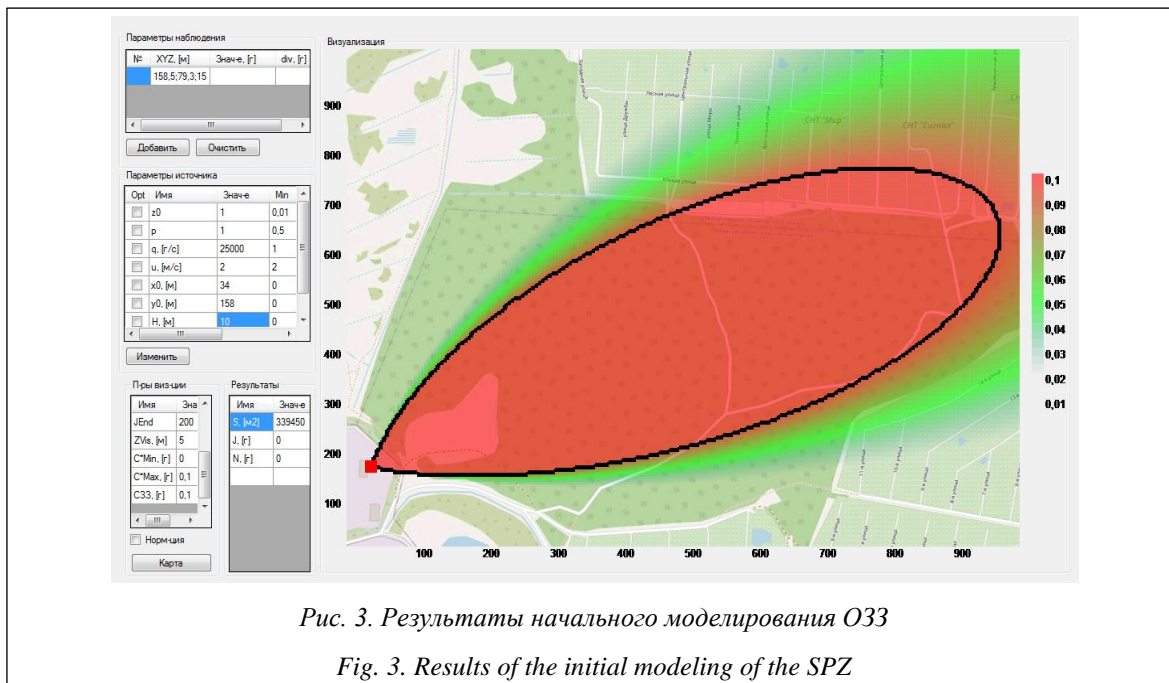


Рис. 2. Структурная схема СППР

Fig. 2. Structural diagram of DSS



ТХВ, и область результатов расчета (с оценкой площади заражения и суммарной ошибки прогноза). В правой части главного окна размещены результаты работы модуля визуализации с отображением на цифровой карте местности полей концентрации ТХВ и линии границы ОЗЗ, а также мест расположения источника выброса аварийно химически опасных веществ и устройств мониторинга. Функции графического отображения реализованы средствами платформы .NET Framework. В условном примере использован фрагмент цифровой карты проекта OpenStreetMap.

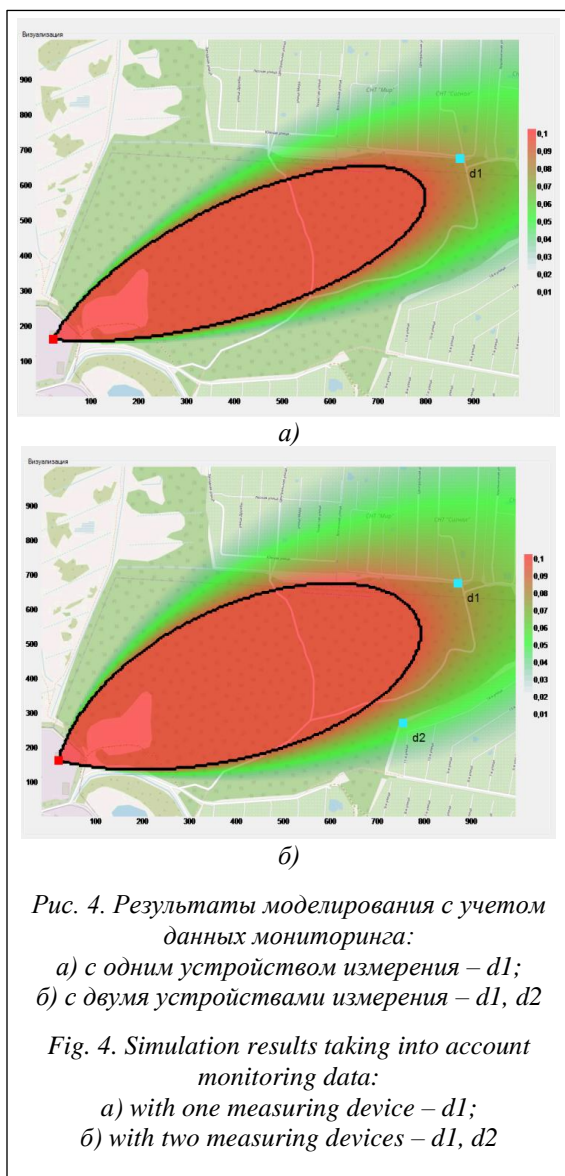
Рассмотрим условный пример. Из реакторной установки по приготовлению битума (плавление) произошел выброс пыли, оксидов и сажи с мощностью источника вредных веществ $Q^* = 25$ кг/с. Скорость ветра на момент выброса составила 2 м/с, юго-западное направление ветра, угол ветра с осью $0x - 30$ градусов. После ввода априорных данных в программу был осуществлен первичный модельный прогноз оценки площади загрязнения предельными углеводородами с опасной концентрацией активного вещества $C^*_{ок} \geq 0,1$ г/м³ (в 100 раз больше, $C_{ПДК} = 1$ мг/м³). На рисунке 2 красным цветом выделена область максимальной концентрации предельных углеводородов, контурной линией определена область ОЗЗ с концентрацией $C^*_{ок} \geq 0,1$ г/м³. Прогнозируемая площадь $S_{ОЗЗ}$ равна 339 450 м². По результатам моделирования можно сделать вывод о необходимости срочной эвакуации жителей из домов

в дачном поселке, находящихся в области ОЗЗ, и организации соответствующих мероприятий.

После химической доразведки местности устройством измерения $d1(x, y)$ (точка $d1$ на рисунке 4а) получено единичное показание концентрации углеводородов $C^*_{d1} = 0,08$ г/м³, которое было применено для коррекции параметров модели Гаусса ($Q^*, p, z0$) по критерию минимума Δ_0 (4). В результате удачного подбора параметров модели ($\Delta_0 \approx 0$) площадь $S_{ОЗЗ}$ существенно уменьшилась и составила 198 850 м². Вывод: нет срочной необходимости в эвакуации жителей из домов, требуется уточнение данных химической обстановки.

При получении показания концентрации $C^*_{d2} = 0,06$ г/м³ устройством измерения $d2(x, y)$ (точка $d2$ на рисунке 4б) размерность функционала Δ_0 (4) возрастает и происходит очередное уточнение параметров модели Гаусса ($Q^*, p, z0$). В рассмотренном примере ассимиляция данных двух измерений привела к допустимому увеличению уровня критериальной оценки: $\Delta_0 = 0,001$. В результате подбора параметров модели и коррекции расположения зоны заражения на местности площадь $S_{ОЗЗ}$ возросла до 263 175 м², но контур ОЗЗ не охватывает жилых домов.

Результаты моделирования показали, что выбросы аварийно химически опасных веществ характеризуются пространственными свойствами, для визуализации которых наиболее подходит картографический метод исследования. ГИС позволяют в оперативных усло-



виях графически отобразить ОЗЗ и оценить поля концентрации $C_i^m(x, y, z, t)$ (границы ОЗЗ, изоуплоты, цветовую палитру концентраций) при моделировании вероятных сценариев аварии. Анализ расположения зон заражения на местности является основой для первичной оценки ущерба, определения безопасных путей эвакуации, обоснования мер по привлечению сил и средств для ликвидации экологического ущерба. Популярными примерами ГИС являются ArcGIS и QGIS, а также специализированная ГИС Национального центра управления в кризисных ситуациях МЧС РФ [10].

При организации мероприятий оперативного мониторинга для устойчивой работы алгоритма необходимо соблюдать требования равномерного расположения датчиков наблю-

дения относительно оси выброса ТХВ. При этом первичные измерения концентрации $C_i^d(x, y, z, t)$ следует проводить на оси выброса или в непосредственной близости от нее. При оперативном реагировании на техногенные аварии необходимо учитывать требование доступности к картографическим данным ГИС в экстремальных условиях и минимальные временные затраты на отображение ОЗЗ, поэтому фрагменты БД ГИС, содержащие данные топографической привязки технологического объекта, должны быть предварительно сохранены в рабочих файлах портативной СППР.

Повышение эффективности решений при ликвидации последствий аварий связано с автоматизацией процессов сбора, обработки, накопления и отображения оперативной информации и с дальнейшей интеллектуализацией СППР, формированием базы знаний экспертов, которая актуальна на стадии не только моделирования при выборе моделей расчета опасной зоны загрязнения, но и мониторинга, например, для разработки рекомендаций по размещению датчиков наблюдения.

Заключение

Таким образом, если выброс неизвестен или известен частично (что вероятно в приложениях, связанных с безопасностью), СППР могут использоваться для расчета площади опасной зоны загрязнения S_{O33} путем прогнозного моделирования процесса распространения ТХВ с учетом данных химического заражения местности. Наиболее существенными являются первичные наблюдения и измерения, выполненные непосредственно на оси выброса.

При формировании мер оперативного реагирования на инцидент в первые часы после аварии для первичной оценки оперативной обстановки необходима портативная СППР, которая использует простые и универсальные алгоритмы моделирования, имеет доступный для оператора визуальный интерфейс и содержит средства корректировки параметров модели по данным оперативного мониторинга. По мере поступления апостериорных данных и информации о масштабе аварии первичная оценка площади опасной зоны загрязнения может быть уточнена в автоматическом режиме после ввода данных мониторинга, что позволит снизить уровень ошибок принятия решений и существенно сократить затраты на ликвидационные мероприятия.

Литература

1. Mazzola T., Hanna S., Chang J., Bradley S., Meris R., Simpson S., Miner S. et al. Results of comparisons of the predictions of 17 dense gas dispersion models with observations from the Jack Rabbit II chlorine field experiment. *Atmospheric Environment*, 2021, vol. 244, pp. 117887. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117887.
2. Матвеев Ю.Н., Карельская К.А., Стукалова Н.А., Нкурийимана Ж.П. Принятие решений для управления ликвидацией последствий аварийных и чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах // *Вопросы современной науки и практики*. 2018. № 2. С. 19–27. DOI: 10.17277/voprosy.2018.02.pp.019-027.
3. Матвеев Ю.Н., Карельская К.А., Стукалова Н.А., Нкурийимана Ж. Структуры математических моделей аварийных и чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах // *Наукоедение*. 2016. Т. 8. № 5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN516.pdf> (дата обращения: 10.12.2020).
4. Balczon M., Di Sabatino S., Franke J., Grebec M., Karpinnen A., Meijer E., Moussafir J., Reif B.P., Tinarelli G., Trijssenaar-Buhre I. Evaluation, improvement and guidance for the use of local-scale emergency prediction and response tools for airborne hazards in built environments. COST Action ES1006, Brussels, 2012. URL: <http://www.elizas.eu/images/Documents/Background%20and%20Justification.pdf> (дата обращения: 10.12.2020).
5. Anderson D. *Atmospheric Science and Power Production*. 1984, 850 p.
6. Стоянов В.У., Фридман А.В. Анализ математических моделей для оценки и прогнозирования химической обстановки в результате чрезвычайных ситуаций на экологически опасных объектах // *Строительство и техногенная безопасность*. 2011. № 40. С. 74–84.
7. Ипатова В.М., Шутяев В.П. Алгоритмы и задачи ассимиляции данных для моделей динамики атмосферы и океана. Долгопрудный: Изд-во МФТИ, 2013. 30 с.
8. Park S.K., Xu L. *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications*. Springer-Verlag Publ., 2013, 730 p.
9. Мину М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы. М.: Наука, 1990. 488 с.
10. Щербина С. Геоинформационная система Национального центра управления в кризисных ситуациях МЧС России // *Век качества*. 2013. № 2. С. 50–52.

Automated decision support system for predicting the dispersion of chemically hazardous substances

*L.O. Chernyshev*¹, *Postgraduate Student, plumber63@mail.ru*
*Yu.N. Matveev*¹, *Dr.Sc. (Engineering), Professor, matveev4700@mail.ru*

¹*Tver State Technical University, Tver, 170026, Russian Federation*

Abstract. The paper discusses an approach to the development of a decision support system for predicting the processes of dispersion and release deposition of the emergency chemically hazardous substances, considering the operational monitoring data.

The features and factors that reduce the efficiency of supervisory systems during the post-accident cleanup are determined. Most of these systems, implemented on hardware platforms of average computing power, do not have the mobility and autonomy sufficient for use in the workplace when toxic chemicals are released and do not provide automatic adjustment of the model parameters based on online monitoring data.

The authors summarize the decision support algorithm, considering the data on the assessment of chemical contamination, the generalized scheme of which contains procedures for monitoring the state of the object, and predictive modeling. We show that the primary goal of the algorithm is to calculate the spatial boundaries of the damaging effect of toxic substances that are closest to the actual data of chemical contamination. There is a mathematical formulation of the observational data assimilation problem in the paper. To adjust the parame-

ters of the forecast model, the authors used a functional that characterizes the degree of deviation of the simulation results from the monitoring data. We detail the functional assessment for single and multiple sensor readings in actual time.

The DSS structural diagram is detailed, which contains modules for entering a priori data, model calculation, topographic binding of objects, optimization, visualization, and emergency analysis. We consider the DSS operation results on a conditional example. When developing a software layout, Microsoft Visual Studio (C# programming language), a fragment of a digital map, and .NET Framework graphics are used.

Keywords: decision making, emergency, monitoring, predictive modeling, operational management, C#, .NET Framework.

References

1. Mazzola T., Hanna S., Chang J., Bradley S., Meris R., Simpson S., Miner S. et al. Results of comparisons of the predictions of 17 dense gas dispersion models with observations from the Jack Rabbit II chlorine field experiment. *Atmospheric Environment*, 2021, vol. 244, pp. 117887. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117887.
2. Matveev Yu.N., Karelskaya K.A., Stukalova N.A., Nkuriyimana Zh.P. Decision-making for management of recovery of accident and emergency situations at chemical hazardous sites. *Problems of Contemporary Science and Practice*, 2018, no. 2, pp. 19–27. DOI: 10.17277/voprosy.2018.02.pp.019-027 (in Russ.).
3. Matveev Yu.N., Karelskaya K.A., Stukalova N.A., Nkuriyimana Zh. Structures of mathematical models of contingency and emergency situations on chemically dangerous objects. *Int. J. Naukovedenie*, 2016, vol. 8, no. 5. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN516.pdf> (accessed December 10, 2020) (in Russ.).
4. Balczo M., Di Sabatino S., Franke J., Grebec M., Karpinnen A., Meijer E., Moussafir J., Reif B.P., Tinarelli G., Trijssenaar-Buhre I. Evaluation, improvement and guidance for the use of local-scale emergency prediction and response tools for airborne hazards in built environments. *COST Action ES1006*. Brussels, 2012. Available at: <http://www.elizas.eu/images/Documents/Background%20and%20Justification.pdf> (accessed December 10, 2020).
5. Anderson D. *Atmospheric Science and Power Production*. 1984, 850 p.
6. Stoyanov V.U. Analysis of mathematical models for assessing and predicting the chemical situation as a result of emergencies at environmentally dangerous facilities. *Construction and Industrial Safety*, 2011, vol. 40, pp. 74–84 (in Russ.).
7. Ipatova V.M., Shutyaev V.P. *Algorithms and Tasks of Data Assimilation for Models of the Dynamics of the Atmosphere and Ocean: Scientific and Educational Course*. Dolgoprudny, 2013, 30 p. (in Russ.).
8. Park S.K., Xu L. *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications*. Springer-Verlag Publ., 2013, 730 p.
9. Minu M. *Mathematical Programming. Theory and Algorithms*. Moscow, 1990, 488 p. (in Russ.).
10. Shherbina S. Geoinformation system of the national crisis management center of the EMERCOM of Russia. *Age of Quality*, 2013, vol. 2, pp. 50–52 (in Russ.).

Для цитирования

Чернышев Л.О., Матвеев Ю.Н. Автоматизированная система поддержки принятия решений для прогнозирования процессов рассеивания химически опасных веществ // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. № 2. С. 307–315. DOI: 10.15827/0236-235X.134.307-315.

For citation

Chernyshev L.O., Matveev Yu.N. Automated decision support system for predicting the dispersion of chemically hazardous substances. *Software & Systems*, 2021, vol. 34, no. 2, pp. 307–315 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.134.307-315.