

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ НАВОДНЕНИЙ

Бурцев А.А.

Научный руководитель – профессор Симонов К.В.

Сибирский федеральный университет

В настоящее время существует противоречие между стоящими перед системой мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (СМП ЧС) задачами, связанными с оперативной оценкой опасности наводнений, и отсутствием разработанной комплексной технологии для их решения. В связи с этим большую практическую значимость представляет вычислительная технология для оперативной оценки опасности наводнений.

Анализ показал, что создание вычислительной технологии для решения указанных задач, основывается на сочетании методов логических решающих функций, статистических методов и методов регрессионного анализа. Методической базой разрабатываемой технологии является общая методология вычислительного эксперимента (ВЭ), которая в последнее время получила широкое распространение в связи с развитием вычислительных средств. ВЭ отличается многоцелевая направленность и методологическая универсальность. В общем смысле под ВЭ понимается создание и изучение математических моделей исследуемого процесса с помощью вычислительных средств. ВЭ позволяет на основе накопленной базы наблюдений, разработанных вычислительных алгоритмов и программного обеспечения эффективно решать задачи СМП ЧС. Кроме того, ВЭ становится единственным средством при невозможности проведения натурного эксперимента (например, при оценке опасности в результате аварии на крупном ГТС).

Компонентами комплексной технологии являются:

Оперативные компоненты – оценка паводковой опасности с помощью построения «критических поверхностей»; оценка развития половодья в предстоящем году на основе определения года-аналога с помощью логических решающих функций;

Компоненты для долгосрочной оценки рисков – оценка риска возникновения ЧС в течение заданного промежутка времени на основе теории экстремальных статистик; определение вероятного времени между ЧС с помощью комбинации распределения Эрланга и экспоненциального распределения максимальных уровней воды; ранжирование территории по степени паводковой опасности и нахождение общих тенденций развития паводковых процессов;

Компонент для оценки опасности в результате аварий на ГТС.

Рассмотрим кратко основные компоненты комплексной технологии.

Оперативная оценка опасности наводнений на основе анализа физических факторов, влияющих на развитие природного процесса, проводится с помощью построения так называемых «критических поверхностей». «Критические поверхности» получаются из регрессионных моделей зависимости уровня воды от определяющих физических параметров. Поверхности строятся в системе координат трех выбранных параметров. В качестве граничного условия задается уровень воды, равный критическому. Таким образом, критические поверхности представляют собой функциональную зависимость трех выбранных существенных параметров при фиксированных значениях остальных. Построение таких поверхностей помогает оперативно выявить опасные диапазоны изменения физических параметров, влияющих на развитие паводковых процессов. В зависимости от угла наклона поверхности к координатной оси определяется степень влияния физического параметра на развитие природного процесса. С помощью данного инструментария эффективно визуализируются решающие правила для системы поддержки принятия решений и управления рисками.

Оценка развития процесса половодья с помощью аппарата логических решающих функций проводится с помощью оперативного сопоставления физических параметров, определяющих уровень половодья в текущем году, с аналогичными параметрами прошлых лет, записанными в плоских таблицах (обучающей выборке). В результате находится год-аналог – год, для которого текущие значения физических параметров соответствуют более всего. В зависимости от выбора физических параметров решаются различные по масштабам задачи: от оценки опасности для целых гидрологических районов до оценки для конкретных гидростов. Целесообразность применения аппарата логических решающих функций определяется цикличностью процесса половодья во времени и его многомерностью: зависимостью от многих переменных как качественных, так и количественных.

Аппарат логических решающих функций от разнотипных переменных, обладает возможностями:

- использования достаточно слабых ограничений на класс распределений при сохранении статистической устойчивости получаемых решений;
- постепенного увеличения сложности рассматриваемого класса для нахождения наилучшего компромисса между двумя противоречивыми требованиями: адекватностью решения и его устойчивостью в условиях малой выборки;
- проведения анализа разнотипной статистической информации;
- выявления вероятностных логических закономерностей, отражающих причинно-следственные связи изучаемого процесса.

Оценка риска возникновения наводнений в течение заданного промежутка времени производится с помощью построения модели, отражающей зависимость,

превышения высоты воды H порогового уровня h в течение заданного промежутка времени T лет с помощью аппарата теории экстремальных статистик.

Известно, что наводнения относятся к катастрофам, имеющим экспоненциальное распределение «существенного» параметра – высоты воды.

Функция распределения случайной величины H_i имеет вид:

$$F(h) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda(h-k)}, & h \geq k, \\ 0, & h < k. \end{cases}, \text{ где } \lambda > 0.$$

Поэтому согласно теоремам теории экстремальных статистик функция распределения $F(h)$ принадлежит области притяжения I типа:

$G(x) = \exp(-e^{-x})$, $-\infty < x < \infty$, а константы a_T , b_T в сходимости $P\{a_T(M_T - b_T) \leq x\} \rightarrow G(x)$ имеют вид: $a_T = \lambda$, $b_T = \frac{\ln T}{\lambda} + k$.

В этом случае соотношение для оценки риска превышения высоты воды H порогового уровня h в течение T лет имеет вид:

$$\begin{aligned} R_T(H > h) &= P(M_T > h) = 1 - P(M_T \leq h) = 1 - P(a_T(M_T - b_T) \leq a_T(h - b_T)) = \\ &= 1 - \exp(-e^{-a_T(h-b_T)}) = 1 - \exp(-T \cdot e^{-\lambda(h-k)}) \end{aligned}$$

Где λ и k – параметры, определяемые регрессионными методами, согласно статистическим данным наблюдений для конкретного гидропоста.

Определение вероятного времени между ЧС, обусловленными наводнениями, проводится, используя комбинацию распределения Эрланга и экспоненциального распределения, что позволяет точнее оценить опасность возникновения катастрофического наводнения.

Использование в модели распределения Эрланга обусловлено тем, что к ЧС приводит не каждое возможное наводнение, в связи с чем простейший поток экстремальных природных явлений «прореживается». Поэтому время между ЧС оценивается по формуле:

$T_{ЧС} = \frac{1}{\lambda q}$, где λ – частота возникновения наводнений на определенной территории, q – частота возникновения ЧС, то есть тех наводнений, которые могут привести к ЧС. Параметры λ и q определяются, используя статистические данные наблюдений за уровнями воды.

Исследование повторяемости между ЧС с помощью функций распределения Эрланга и экспоненциального распределения показывает, что модель экспоненциального распределения даёт верхнюю оценку опасности при малых t . Более опасной является ситуация при длительном сроке, для которого использование экспоненциального распределения занижает уровень опасности. Поэтому в этом случае целесообразно рассматривать распределение Эрланга. Таким образом, используя в качестве модели оценки промежутков времени между ЧС комбинацию распределения Эрланга и экспоненциального распределения, возможно получение верхней оценки опасности наводнений, более соответствующей эмпирическому распределению. Представленная модель позволяет точнее оценить опасность возникновения катастрофического наводнения в течение заданного промежутка времени и, следовательно, снизить ожидаемый ущерб.

Компонентом анализа пространственного распределения рисков является ранжирование территории по степени паводковой опасности и выявление общей тенденции развития паводковых процессов. Суть проведения анализа заключается в определении показателей риска с помощью статистических данных. Основным показателем оценки риска и сравнения территории по степени опасности – значение индивидуального риска, которое рассчитывается по формуле:

$$R_i = \frac{Q_i}{T \cdot N_i},$$

где

Q_i – количество случаев наводнений за период наблюдений,

T – количество лет наблюдений,

N_i – численность проживающего населения.

В результате проводится ранжирование территории по степени паводковой опасности: оцениваются риски в муниципальных районах, выявляются наиболее паводкоопасные населенные пункты и реки. На основе полученной информации планируется размещение элементов системы мониторинга паводковой опасности; развитие группировки сил и средств для ликвидации возможных ЧС; создание резервов финансовых и материальных средств и размещение мест их хранения; проводится комплекс мероприятий, направленных на снижение риска. Проведение ранжирования требуется также для разработки схем территориального планирования, определения стратегий устойчивого развития территорий.

Риски в результате аварий на ГТС являются одними из характерных источников потенциальной опасности в Красноярском крае. Поэтому важным компонентом комплексной технологии является оперативная оценка опасности при гипотетических авариях на ГТС. Общая схема проведения такой оценки включает: сбор исходных данных, расчет параметров волны прорыва, построение зоны затопления, расчет

вероятного ущерба. Расчеты проводятся на основе сценарного подхода и ГИС-технологий. Особенностью рассматриваемой схемы является применение различных расчетных методов (детальной оценки или укрупненных показателей) в зависимости от степени детальности исходных данных.

Разработано алгоритмическое обеспечение указанных компонентов, что позволяет определить информационные основы технологии и автоматизировать процесс анализа развития природных процессов, значительно повысив оперативность обработки информативных сигналов и выдачи предложений органам управления. Ядром технологии, ее информационным обеспечением, является специализированная база данных СМП ЧС. Особенности специализированной базы данных являются: распределенность ресурсов, направленность на использование в ГИС-технологиях и экспертных системах поддержки принятия решений. Основы ее построения учитывают задачи, стоящие перед СМП ЧС.

По модели представления информации база данных является реляционной, состоящей из связанных с помощью ключевых полей двумерных таблиц. Основными таблицами базы данных являются: таблица гидропостов; гидрологических уровней; метеоусловий; объектов, попадающих в зону наводнения; ГТС; сил и средств для реагирования на ЧС; таблица случаев наводнений; физических параметров перед началом половодья.

Предлагается «трехзвенная» архитектура СУБД: сервер баз данных – сервер приложений – клиент. Такая архитектура позволит переложить всю функциональность программы с машины клиента на отдельную машину (сервер приложений), оставив клиенту только интерфейсную часть, что разгрузит клиента и сервер баз данных от вычислений. При большом количестве пользователей (при расширении системы) можно использовать несколько серверов приложений. Для распределения нагрузки возможно кэширование на сервере приложений часто используемых таблиц для ускорения доступа к ним.

Итак, представлены методические основы, основные компоненты и методы реализации технологии вычислительного эксперимента для оперативной оценки опасности наводнений, ориентированной для специалистов системы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС. Проведена апробация компонентов комплексной технологии для территории Красноярского края.