

УДК 004.89/504.75

Оценка рисков аварийных ситуаций на гидроэлектростанциях Красноярского края

Андрей А. Бурцев^б, Валерий В. Ничепорчук^{а*},
Константин В. Симонов^а

^а *Институт вычислительного моделирования СО РАН,
660036 Россия, Красноярск, Академгородок*

^б *Сибирский региональный центр МЧС России,
660049 Россия, Красноярск, пр. Мира, 35*¹

Received 5.04.2008, received in revised form 28.04.2008, accepted 5.05.2008

Рассмотрены проблемы анализа природно-техногенной опасности и оценки территориальных рисков, связанных с крупными гидротехническими сооружениями. Предложен алгоритм расчета последствий аварий на гидротехнических сооружениях ГЭС, который состоит из разработки соответствующих цифровых карт на основе моделей рельефа расчетной области, подготовки исходных данных об исследуемом неблагоприятном процессе, расчетов параметров волны прорыва, оценки затопленных площадей и объектов, а также оценки ущерба при реализации выделенных сценариев аварий. Приведены примеры оценки последствий гипотетических аварийных ситуаций для Красноярской и Богучанской ГЭС.

Ключевые слова: риск, последствия аварии, ущерб, геоинформационное моделирование.

Введение

К настоящему времени в России и за рубежом выполнен значительный объем научных исследований и прикладных разработок по комплексным проблемам обеспечения техногенной безопасности объектов инфраструктуры, населения и среды жизнедеятельности [1]. Помимо исследований прочности и надежности серийных конструкций, все большую актуальность приобретают вопросы исследования риска чрезвычайных ситуаций, в том числе оценки последствий гипотетических аварий на уникальных объектах.

Красноярский край обладает целым комплексом подобных объектов. Реализованные в предшествующие десятилетия масштабные проекты (Красноярская ГЭС, алюминиевый завод, Норильский промышленный район, предприятия ВПК) позволили создать мощную промышленную базу, но одновременно привели к росту техногенной опасности. Негативные последствия экономических реформ 1990-х гг. обусловили повышение износа основных производственных фондов. По данным на 2002 г., уровень износа в целом по промышленности края превысил 50 %

* Corresponding author E-mail address: Valera@icm.krasn.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

при снижении промышленного производства на 63 % по сравнению с 1990 г. Такое положение резко обострило проблемы обеспечения природно-техногенной безопасности [2].

С повышением в последние годы инвестиционной активности реализуются новые масштабные проекты, среди которых комплексное развитие Нижнего Приангарья (достройка Богучанской ГЭС, строительство Богучанского алюминиевого завода и Лесоперерабатывающего комплекса), Железногорской ТЭЦ и других. Всего к 2010 г. будут введены в строй 8 крупных объектов, более 350 км автомобильных и 505 км железных дорог, 543 км нефтепроводов и 1500 км газопроводов, которые, в свою очередь, будут вносить свой вклад в показатели территориального риска чрезвычайных ситуаций. Исследование посвящено оценке рисков, возникающих при строительстве и эксплуатации уникальных технических объектов (на примере Богучанской и Красноярской ГЭС).

Анализ риска наводнений

Если проводить анализ рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, то с учетом для вероятности реализации угроз можно записать:

$$P_S = F_{PS} \{P_N, P_T, P_O\}, \quad (1)$$

где P_N – вероятность появления неблагоприятного события, обусловленная человеческим фактором; P_T – вероятность, обусловленная состоянием объектов техносферы; P_O – вероятность, обусловленная воздействием окружающей среды. Вид функционала (1) остается таким же и для вероятностей реализации интегральных, дифференцированных и объектовых рисков.

Ущерб U_S от реализации аварий в общем случае можно записать:

$$U_S = F_{US} \{U_N, U_T, U_O\}, \quad (2)$$

где U_N – ущербы, наносимые населению при взаимодействии первичных и вторичных поражающих факторов при реализации аварийных ситуаций; U_T – ущербы, наносимые объектам техносферы; U_O – ущербы, наносимые окружающей среде. Величины U_N , U_T и U_O измеряются как в натуральных единицах (например, числом погибших людей, числом разрушенных объектов и площадью поврежденных территорий), так и в эквивалентах (например, в экономических, денежных показателях) [1].

При выборе участка береговой территории для строительства гидротехнического объекта можно рассматривать риск воздействия наводнения как один из критериев в задаче оптимизации:

$$R(x) = P_x(H) \cdot P_x(U/H) \rightarrow \min_x, \quad (3)$$

где x – условный номер участка береговой территории, $P_x(H)$ – вероятность опасности наводнений для зоны x , $P_x(U/H)$ – вероятность ущерба при реализации опасности для изучаемого объекта, расположенного в зоне x .

Известно, что при оценке ущерба от наводнения возникает задача расчета уязвимости (или состояния повреждения) гидротехнического объекта по отношению к этому неблагоприятному явлению. Рассматривая при этом состояние повреждения объекта, важно определить понятие повреждения как пример нечеткого множества. Естественно, оно зависит от многих параметров

(входных данных), таких как материал, характеристика фундамента, геологические характеристики участка, интенсивность наводнения и т. д.

Предлагается процедура построения аналитических моделей для функций принадлежности, заданных таблично, с помощью программного комплекса «Модели», в основе которого лежит регрессионное моделирование данных. Далее строится база нечетких лингвистических правил. В случае воздействия наводнений на гидротехнические сооружения система нечеткого вывода будет содержать три правила нечетких продукций следующего вида.

Правило 1. Если β_1 есть «много» и β_8 есть «старое», то β есть «разрушительное».

Правило 2. Если β_1 есть «среднее» и β_8 есть «старое», то β есть «сильное».

Правило 3. Если β_1 есть «много» и β_8 есть «новое», то β есть «сильное».

В результате получаем через показатели β_i количественное описание состояния повреждения гидротехнического объекта при наводнении. Отметим, что эксперт, используя предложенную методику оценки состояния гидротехнического объекта и оценивая стоимость объекта и вероятность возникновения наводнения, определяет риск для проектируемого строения (либо для уже имеющихся объектов) на некотором участке побережья x за определенное время Δt :

$$R_x(\Delta t) = P_x(H) \cdot S(x, k) \cdot v(x, k, H), \quad (3)$$

где x – условный порядковый номер участка береговой территории; $P_x(H)$ – вероятность опасности наводнений для зоны x ; $S(x, k)$ – стоимость объекта, зависящая от участка расположения объекта x и некоторого набора характеристик объекта k ; $v(x, k, H)$ – оценка состояния повреждения объекта при реализации опасности. В итоге предлагается процедура моделирования риска с целью принятия решения о степени опасности для изучаемого гидротехнического объекта. Задается Δt (например, 100 лет); определяется максимальная опасность наводнения (максимальная высота волны) для каждого участка x за Δt ; оценивается уязвимость объекта при реализации определенной опасности (по каждому участку x); оценивается риск для проектируемого объекта на каждом альтернативном участке.

Если эксперт делает вывод о том, что риск неприемлемо высок, то ему предоставляется возможность моделировать различные ситуации: например, улучшать состояние повреждения при наводнении путем изменения технологии строительства, материалов и т.д., а затем рассчитать новые риски и принять решение. Оценки показывают, что для уникальных гидротехнических объектов вероятность крупной аварии выражается величиной порядка $1,0 \times 10^{-7}$ год⁻¹ и менее; в то же время последствия аварий могут быть очень большими как в денежном выражении, так и по величине возможных потерь и количеству пострадавших.

Характеристика объектов исследований

Красноярская ГЭС на реке Енисее мощностью 6000 МВт представляет собой бетонную плотину гравитационного типа длиной по гребню 1075,5 м, максимальной высотой 128 м, с разгрузочными полостями в основании. В состав напорного фронта входят: левобережная глухая плотина длиной 187,5 м; водосливная плотина длиной 225 м (7 водосбросных пролетов по 25 м); глухая русловая плотина длиной 60 м; станционная плотина 360 м; глухая правобережная плотина длиной 232,5 м. После ввода ее в эксплуатацию произошло наполнение водохранилища объемом 66 км³ (при отметке НПУ 198 м МБС).

Богучанская ГЭС на реке Ангаре мощностью 3500 МВт находится в стадии строительства, ввод ее в эксплуатацию намечен в 2012 г. ГЭС состоит из бетонной плотины длиной 290 м и земляной плотины длиной 1799 м. При наполнении водохранилища до проектной отметки 205 м МБС его объем составит 58,2 км³. Эти объекты значительно различаются по характеристикам нижнего бьефа. Расчетная территория Красноярской ГЭС представляет собой урбанизированную местность с большой плотностью населения и значительным количеством объектов. Территория нижнего бьефа Богучанской ГЭС является малонаселенной, с менее развитой промышленной и транспортной инфраструктурой.

Предварительные оценки последствий аварий, связанных с образованием волны прорыва, для указанных ГЭС приведены в табл. 1.

Таблица 1. Предварительная оценка последствий аварий на ГЭС

№ п/п	Показатель	Красноярская ГЭС	Богучанская ГЭС
1	Количество населенных пунктов в зоне затопления	118	48
2	Из них городов	6	2
3	Возможное количество пострадавших, тыс. чел.	500	230

Согласно этим данным величина ущерба при аварийных ситуациях для Красноярской ГЭС ожидается значительно выше, чем для Богучанской ГЭС при аналогичных сценариях развития неблагоприятных событий.

Алгоритм расчета последствий аварийных ситуаций

Разработка сценариев аварийных ситуаций. На первом этапе выполнения расчетов разрабатываются варианты возможных сценариев аварий на ГЭС с образованием волны прорыва. При этом учитываются степень заполнения водохранилища, высота порога брешки и степень разрушения самой плотины. По имеющимся данным определяются вероятности реализации сценариев и факторы, которые могут привести к разрушению плотины или ее части. Анализ схем возможных аварий выполняется на основании данных об авариях на аналогичных сооружениях, результатов выполненных расчетов и сведений о возможном превышении расчетных нагрузок.

Дадим несколько сценариев развития аварийных ситуаций, приводящих к разрушению плотин ГЭС. В качестве инициирующих событий могут выступать гидрологические, геодинамические и человеческие факторы.

Сценарий 1. Не предусмотренный проектом паводок (менее 0,01 %, согласно [3]) → перелив воды через гребень плотины → размыв основания за подошвой низовой грани глухой плотины → потеря устойчивости и сдвиг в сторону нижнего бьефа одной из секций глухой гравитационной плотины → формирование волны прорыва.

Сценарий 2. Не предусмотренный проектом аварийный сброс воды с расположенной выше ГЭС (в том числе в результате аварии ГЭС, расположенной выше ГЭС) → перелив воды через гребень плотины → оползание низового откоса с образованием прорана → образование волны прорыва.

Сценарий 3. Не предусмотренное проектом сейсмическое воздействие в период паводка → превышение принятого в проекте расчетного уровня волнового воздействия → перелив воды через гребень плотины → оползание низового откоса с образованием прорана → образование волны прорыва.

Сценарий 4. Увеличение раскрытия шва на контакте верховой грани и основания → разрыв контакта «плотина-основание» в месте расположения цементационной завесы и ее разрушение с недопустимым повышением фильтрационного противодавления → потеря устойчивости и сдвиг в сторону нижнего бьефа одной из секций плотины → формирование волны прорыва.

Сценарий 5. Невозможность своевременного подъема затворов или отказ подъемных механизмов при пропуске паводка → подъем уровня в водохранилище → перелив воды через гребень бетонной и грунтовой плотины → формирование волны прорыва.

Количество сценариев зависит от состава сооружения (например, для Богучанской ГЭС рассматривались сценарии аварийных ситуаций на бетонной и земляной плотинах) и от количества факторов, приводящих к аварии. Как правило, согласно нормативным документам рассматриваются два сценария: наиболее тяжелый и наиболее вероятный. В первом случае предполагается, что волна прорыва образуется при заполнении водохранилища до максимальной отметки и полном разрушении плотины, во втором – рассматривается частичное разрушение и среднегодовой уровень заполнения. Для Богучанской ГЭС, как строящегося объекта, рассмотрены дополнительно сценарии аварийных ситуаций, возникающих при заполнении водохранилища.

Исходные данные для моделирования последствий аварий. В программной среде ArcGIS Desktop 9.0 разработана цифровая карта-схема исследуемой территории с участками верхнего и нижнего бьефов. Карта-схема имеет масштаб М 1:200 000 и проекцию GK Pulkovo 1942 Zone 16 (для Красноярского края). Использовались следующие картографические слои: топооснова (площадные слои): водоемы, острова, населенные пункты (НП), кварталы в НП; топооснова (линейные слои): реки, изолинии рельефа, дороги, коммуникации; тематические слои, площадные: сшивка листов карты М 1:100 000 или крупнее, растительность с выделением лесных пород; цифровая модель рельефа изучаемой территории (ЦМР).

Для расчетов и оценок используется карта с базовым масштабом отображения объектов и подписей М 1:25 000. С помощью инструмента GeoReference выполнена привязка всех растровых фрагментов карт расчетной территории нижнего бьефа. По этим картам определено местоположение расчетных створов: это либо месторасположение населенных пунктов, либо отметки урезов воды. От количества расчетных створов зависит детализация характеристик волны прорыва.

Далее определялись характеристики реки для расчета параметров волны прорыва. «Измерены» расстояния между створами, ширина реки (там, где она не указана на картах), ширина поймы и расстояние от середины реки до 1-, 2- и 3-й горизонталей местности. Для крупных ГЭС с ожидаемой высотой волны от 30 м и выше точность оценки рельефа порядка 1 м оказалась вполне приемлемой. На рис. 1 показан фрагмент карты нижнего бьефа ГЭС, состоящий из векторных слоев и растровой подложки. Черные линии – горизонталы цифровой карты (проведены через 20 м), серые – изолинии рельефа растровой карты (проводятся через 10 м для М 1:50 000 и через 5 м для М 1:25 000).

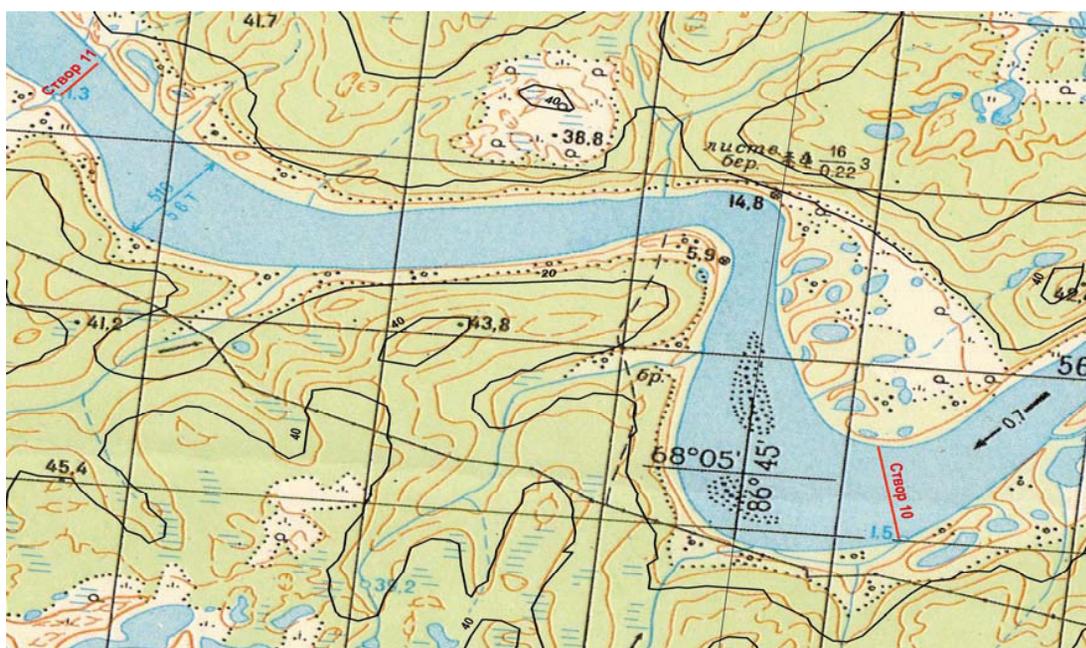


Рис. 1. Оценка параметров створов на реке

Источниками информации по скорости течения, глубине реки, высоте бровки берега служили как данные на основе лоцманских карт, справочники по ресурсам поверхностных вод, так и данные натуральных наблюдений.

Расчет параметров волны прорыва. Расчет параметров волны прорыва проводили на основе двух алгоритмов. Для исследований по Красноярской ГЭС использовали программу «Волна-2» (ВНИИ ГОЧС, 2003), а для Богучанской ГЭС – алгоритмическое и программное обеспечение, разработанное в ИВМ СО РАН [4, 5]. В результате соответствующих расчетов получены оценки следующих показателей: максимальный расход воды в створе; время добегания фронта, гребня и хвоста волны; максимальная глубина затопления; высота волны; максимальная скорость течения; максимальная отметка затопления; максимальная ширина затопления по левому и правому берегам. В табл. 2 приведены результаты расчетов параметров волны прорыва для некоторых створов нижнего бьефа Красноярской ГЭС.

При наиболее тяжелом сценарии высота волны может достигать 50 м в приплотинном участке. По мере продвижения по руслу реки происходит уменьшение ее высоты до 40 м. Аналогичная ситуация наблюдается на р. Ангаре; высота волны изменяется от 30 м для района пос. Богучаны до 14 м в районе г. Енисейска.

Построение карты-схемы зон затопления. Следующий этап общей алгоритмической схемы заключается в подготовке цифровой модели местности (grid SRTM). Grid SRTM представляет собой регулярную сетку (растр), в каждой точке которой задано значение высоты в метрах по балтийской системе высот. Точность и размер сетки можно настраивать. Файл с исходными данными имеет размерность $1^\circ \times 1^\circ$ по широте и долготе $\sim 60 \times 80$ км. Для ускорения вычислений Grid разделен на фрагменты. После создания линейного слоя с изолиниями рельефа командой ArcGIS 9.0 Analysis Tools → Overlay → Intersect выделяется искомый фрагмент, а затем в мо-

Таблица 2. Оценки параметров волны прорыва для нижнего бьефа Красноярской ГЭС

№ створа	Наименование населенного пункта	Расстояние от плотины ГЭС, км	Отметка уреза уровня воды в р.Енисее, м БС	Средняя скорость движения волны прорыва, км/ч	Время добегания волны прорыва от плотины до створа, ч	Высота волны прорыва, м	Время прохождения волны через створ, ч
1	г. Дивногорск	5	144,2	16	0,31	53,10	142,33
2	г. Красноярск	35	137,0	16	2,18	52,04	145,18
3	пос. Березовка	63	132,0	16	3,93	51,52	146,63
4	с. Атаманово	126	118,0	15	8,13	49,97	151,03
5	с. Павловщина	180	109,0	15	11,73	48,97	154,05
6	пос. Предивинск	225	101,0	15	14,73	47,99	157,13
7	с. Порог	276	91,5	15	18,3	47,03	160,27
8	с. Казачинское	308	86,3	14	20,41	46,56	161,87
9	с. Каргино	363	78,7	14	24,34	45,63	165,10
10	пос. Стрелка	371	77,8	14	24,91	45,50	165,60

дуле 3-D Analyst ArcView 3.1 последовательно выполняются следующие команды: Create TIN; Convert TIN to Grid; Export Source Data to Asii. Полученный текстовый файл имеет размерность не более 0,5 Мб.

Далее (этап VI) проводится моделирование зон затопления для самого вероятного и самого тяжелого сценариев аварий. Для этого используется ГИС-компонента, разработанная в ИВМ СО РАН [6]. В программе реализованы два метода: линейное поднятие уровня воды (заполнение водохранилищ) и расчет зон затопления с учетом уклона реки (паводок, авария на ГТС). В первом случае рассчитывается и визуализируется площадь, где значения высоты меньше, чем сумма высот водной поверхности и изменения уровня.

Во втором случае используется «опорный» линейный слой водотоков и рассчитывается уровень поднятия воды H на каждом участке. Определяется R – множество узлов грида G , состоящего из ближайших узлов для объектов из «опорного» линейного слоя, высота в которых имеет наименьшее значение в сравнении с тремя другими ближайшими точками. Затем на основе величин G , H и R строятся новый грид G' и изолинии с заданным уровнем поднятия.

На рис. 2 показан интерфейс программы, рассчитывающей зоны затопления на основе ЦМР. Для расчетов строится векторная карта-схема и на основе grid формируется тематический слой зоны затопления в формате share.

Результаты расчета последствий аварий при наиболее тяжелом сценарии для изучаемых гидротехнических сооружений представлены в табл. 3.

На рис. 3 показан фрагмент карты зоны затопления для Богучанской ГЭС. Время движения волны прорыва до створа пос. Богучаны – 0,5 суток, до створа г. Енисейска – 2 суток. Для пяти населенных пунктов Богучанского района время добегания волны прорыва существенно меньше нормативов времени, необходимого для эвакуации населения из опасных зон [4]. В зависимости от высоты волны и характера поймы ширина разлива реки при катастрофическом затоплении может составлять от 2 до 50 км.

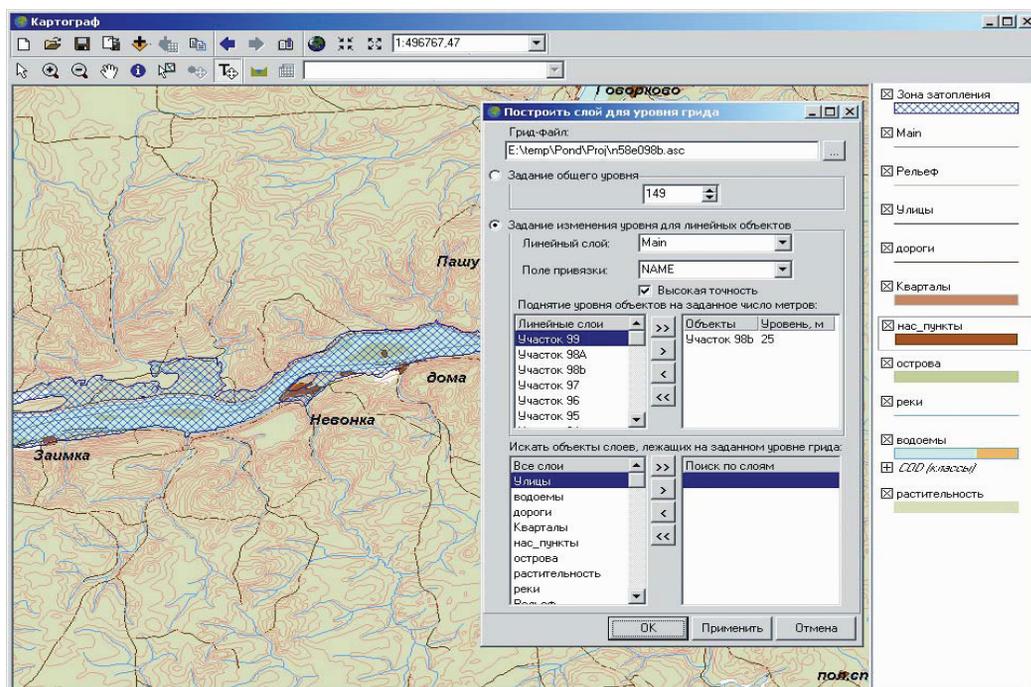


Рис. 2. Пример расчета зоны затопления

Таблица 3. Оценка последствий возможных аварий на ГЭС

№ п/п	Показатель	Красноярская ГЭС	Богучанская ГЭС
1	Общая площадь зоны затопления, км ²	6800	1318
2	Затоплено лесных угодий, га		30000
3	Затоплено пашни, га	1300	60
4	Затоплено территорий населенных пунктов, км ²	133,1	52,8
5	Разрушено дорог и коммуникаций, км		190
6	Разрушено мостов	5	0

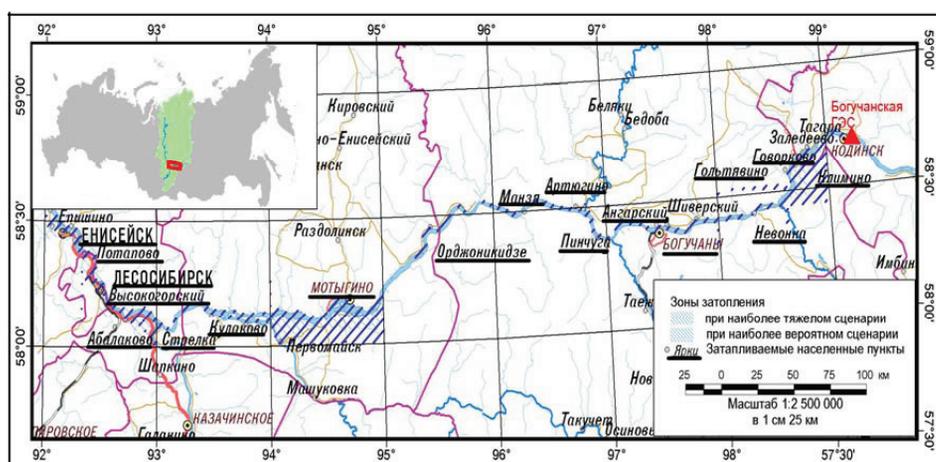


Рис. 3. Карта-схема зоны затопления территории при наиболее тяжелом сценарии аварий на Богучанской ГЭС

Оценка ущербов от аварий на ГЭС

Расчеты вероятного вреда, который может быть причинен в результате аварий гидротехнических сооружений ГЭС, выполнены в соответствии с Федеральным законом «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ и «Правилами определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидротехнического сооружения», утвержденными Постановлением Правительства Российской Федерации № 876 от 18 декабря 2001 г.

Расчеты базируются на нормативных документах Минэнерго России, в том числе и на методике, описанной в [5]. Методика определяет составляющие ущерба по методу укрупненных показателей. Этот подход используется при отсутствии подробных данных о ситуации в зонах воздействия аварий и достаточных данных, содержащихся в геоинформационных системах и предполагается использование среднестатистических данных о характеристиках объектов и плотности расселения населения в рассматриваемом регионе. Такой метод не обладает высокой точностью, поскольку принимается допущение, что производственные мощности и транспортная инфраструктура распределены по территории субъекта РФ равномерно и объем производимого валового продукта на единицу площади примерно одинаков.

Территории Красноярского края существенно отличаются по этим показателям друг от друга, однако применение других методов расчета ущерба (например, методов детальной или планшетной оценки) затруднено из-за отсутствия необходимой информации. Кроме того, из-за недостаточности данных о балансовой стоимости, исторической значимости и других обстоятельств очень часто необходимо использовать экспертные оценки стоимости объектов.

Используемая методика не предназначена для определения упущенной выгоды (стоимостного выражения убытков), поэтому полученные оценки представляют собой нижнюю границу ущерба от возможных аварий. Сумма ущерба может быть увеличена при проведении более детальной оценки разрушений, повреждений объектов, выплат страховых сумм и компенсаций пострадавшему населению.

В табл. 4 приведены основные параметры, использующиеся при расчете ущерба. Составляющие ущерба (1) рассчитываются умножением экономических показателей (2) на параметры, которые оценивались с помощью ГИС (3). При этом экономические показатели вычислялись на основе приложений к [5] с учетом года оценки ущерба или оценивались на основе статистических сборников. Итак, «географические показатели» зависят от выбранного сценария аварийной ситуации, параметров волны прорыва и характера затопления. После вычисления площадей затопления проводилась их классификация по степеням разрушения (полная, сильная, средняя и слабая) в зависимости от глубины затопления, скорости движения волны и продолжительности стояния воды.

При наличии обоснованных данных расчет суммарного ущерба производится суммированием его составляющих. При реализации самого тяжелого сценария аварий на Богучанской ГЭС суммарный ущерб составит 27 780 млн руб., а на Красноярской ГЭС – более 264 500 млн руб. По масштабам такие чрезвычайные ситуации относятся к категории федеральных, затраты на ликвидацию последствий сравнимы с годовым бюджетом Красноярского края.

Таблица 4. Исходные данные для расчета ущерба

Составляющие ущерба	Экономические показатели	Географические показатели
Ущерб основным фондам	Балансовая стоимость объектов на год расчета ущерба	Площадь зон разрушения
Ущерб оборотным фондам	Валовый национальный продукт за год по субъекту РФ	Площадь зон разрушения
Ущерб готовой продукции	Общий валовый национальный продукт, произведенный за рабочий день в субъекте РФ и отнесенный к единице его территории	Площадь зон разрушения
Ущерб транспорту и связи	Стоимость основных фондов элементов транспорта и связи в субъекте РФ, отнесенная к единице длины	Длина дорог и коммуникаций в зоне затопления
Ущерб жилому фонду и имуществу населения, в том числе: - ущерб жилому фонду (село) - ущерб жилому фонду (город)	Стоимость жилого фонда (село) Стоимость жилого фонда (город)	Население в зоне разрушений (сельское) Население в зоне разрушений (городское)
Нежилые объекты	Стоимость индивидуально для каждого объекта	
Расходы на ликвидацию последствий аварии	Процент от общей суммы ущерба	
Ущерб сельскому хозяйству	Норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельхозземель, млн руб/га	Площадь сельхозугодий в зоне затопления
Ущерб лесному хозяйству	Стоимость 1 м ³ корневого запаса древесины, отведенной под рубку	Площадь порубочных делан
Ущерб окружающей среде от затопления лесов	Средний корневой запас древесины для таежных районов	Площадь лесов в зоне катастрофического затопления за вычетом площади порубочных делан
Суммарный ущерб от затопления лесов	Норматив платы за перевод лесных земель в нелесные	
Ущерб окружающей природной среде	Стоимость единицы объема работ для Красноярского края Объем работ по восстановлению природной среды (определяется индивидуально для каждого объекта)	Площадь, пораженная сбросом опасного вещества
Ущерб по верхнему бьефу	Затраты на организацию аварийного водоснабжения на одного жителя	Количество жителей, испытывающих дефицит воды из-за аварии систем водоснабжения
Ущерб объектам водного транспорта	Ставка платы за использование акватории, млн руб/ км ²	Длина водохранилища, км Площадь используемой части акватории водохранилища, км ²
Ущерб рыбному хозяйству	Усредненная рыбопродуктивность, кг/га Рыночная стоимость пойманной рыбы Количество лет, необходимое для формирования нового ихтиоценоза	Площадь водохранилища при НПУ
Прочие виды ущерба	Процент от общей суммы ущерба	
Суммарный ущерб	Сумма всех составляющих ущерба	

Заключение

1. Рассмотрен математический аппарат расчета природно-техногенных рисков применительно к гидротехническим сооружениям. Показано, что при оценке вероятностей реализации сценариев аварий необходимо учитывать как геоэкологические характеристики изучаемой территории, так и человеческий фактор.

2. Предложена вычислительная методика оценки последствий аварий на гидротехнических сооружениях. Данный подход применим как для сооружений I класса (плотин ГЭС), так и для малых ГТС с объемами водохранилищ от 100 тыс. м³.

3. На примере моделирования гипотетических аварий для двух крупных ГЭС Красноярского края проиллюстрированы результаты исследований на основе разработанной методики. При наличии дополнительной информации результаты расчетов составляющих ущерба могут быть дополнены новыми сведениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента для ведущих научных школ № НШ-3428.2006.9.

Список литературы

1. Махутов Н.А. Правовое и нормативное регулирование безопасности объектов техносферы / Н.А. Махутов // Безопасность и живучесть технических систем: Труды II Всероссийской конференции. – Красноярск, ИВМ СО РАН, 2007. – С. 5-12.
2. Фролов К.В. Управляющие и геоинформационные системы обеспечения безопасности / К.В. Фролов и др. // Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. – М.: Знание, 2001. – С. 10.
3. СНиП 2.06.08-86. «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений». – М., 1996.
4. Бураков Д.А. Математическое моделирование стока: теоретические основы, современное состояние, перспективы / Д.А. Бураков, Е.Д. Кареева, В.В. Шайдунов // Вестник КрасГУ. – 2006. – № 4. – С. 3-19.
5. Белолипецкий В.М. Моделирование задач гидроледотермики водотоков / В.М. Белолипецкий, С.Н. Генова, В.Б. Туговиков, Ю.И. Шокин. – Красноярск: ВЦ СО РАН, 1993. – 138 с.
6. Евсюков А.А. Интеграция технологий в системах поддержки принятия решений в условиях ЧС / А.А. Евсюков, С.В. Исаев, А.А. Марков, Р.В. Морозов, В.В. Ничепорчук, Л.Ф. Ноженкова // Безопасность и живучесть технических систем: Труды II Всероссийской конференции. – Красноярск, ИВМ СО РАН, 2007. – С. 44-48.
7. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: учебник: в 3 ч. Часть 2. Инженерное обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: в 3 кн. Книга 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / под общ. ред. С.К. Шойгу / Г.П. Саков, М.П. Цивилев, И.С. Поляков и др. – М.: ЗАО «ПАПИРУС», 1998. – 166 с.
8. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварий гидротехни-

ческих сооружений предприятий топливно-энергетического комплекса: Утверждена приказом МЧС России и Минэнерго России от 29 декабря 2003 г. №776/508.

Estimation of Emergencies Risks on the Hydroelectric Power Station in Krasnoyarsk Region

**Andrey A. Burtzev^b, Valery V. Nicheporchuk^a
and Konstantin V. Simonov^a**

^a *Institute of Computational Modeling SB RAS,
Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

^b *Siberian Regional Center of Russia Emercom,
35 Mira, Krasnoyarsk, 660049 Russia*

Problems of the analysis of nature and technogenic danger and estimation of the territorial risks connected with large hydraulic engineering constructions are considered. The calculation algorithm for failure after-effects on hydraulic engineering constructions of the hydroelectric power station is proposed. It consists of the following steps: development of digital cards based on models of the estimated area relief, preparation of initial data about adverse process considered, calculations of break wave parameters, estimation of the flooded areas and objects, and estimation of damage if the scripts of failures marked out are realized. Examples of hypothetical failures for Krasnoyarsk and Boguchan HPS are described.

Key words: risk, failure after-effect, damage.
