

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 519.711

СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЗЕЙСКОЙ ГЭС ВО ВРЕМЯ АНОМАЛЬНЫХ НАВОДНЕНИЙ

В. Н. Думачев, Н. В. Пешкова, А. В. Калач, А. А. Чудаков

Предложена модель описания чрезвычайных ситуаций природного характера, объединяющая теорию Марковских цепей и теорию игр в виде конечного автомата. В качестве примера рассматривается модель эксплуатации Зейского гидроузла в период ЧС и определяется оптимальная стратегия ее обслуживания.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации природного характера, матричные игры, экстремальные стратегии.

1. Введение. Рост во всем мире количества чрезвычайных ситуаций и масштабов их последствий приводит к необходимости более глубокого анализа причин их возникновения и методов их ликвидации. В настоящей работе рассматриваются модели чрезвычайных ситуаций природного характера. С точки зрения теории конфликтов, возникновение чрезвычайной ситуации является выбором одной из возможных стратегий игры с

природой. Особенностью таких игр является то, что природа не выбирает оптимальной стратегии для своего поведения. И даже если платежная матрица игры допускает существование чистой стратегии – природу нельзя считать «рациональным» игроком, т.е. мы всегда должны предполагать, что природа будет пользоваться исключительно смешанными стратегиями.

Другими словами, какую бы стратегию человек ни выбрал – природа просто проигнорирует его выбор и независимо от выигрыша или проигрыша сделает ход по своим правилам.

2. Теоретические основы модели. Данная работа построена на основе модели, предложенной в [1]. Особенностью предлагаемой модели является объединение теории Марковских цепей [2] с теорией игр [3]. Результатом такого объединения является объект-автомат [4], на вход которого подается последовательность чрезвычайных ситуаций (a_1, a_2, \dots, a_k) и ответных стратегий человека (b_1, b_2, \dots, b_m) , а выходом являются платежные матрицы игр, соответствующих состояниям конечного автомата:

	Вход						
	a_1b_1	a_1b_2	...	a_2b_1	a_2b_2	...	a_kb_m
S_0	S^*	S^*	...	S^*	S^*	...	S^*
S_1	S^*	S^*	...	S^*	S^*	...	S^*
...
S_n	S^*	S^*	...	S^*	S^*	...	S^*

Думачев Владислав Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры высшей математики, Воронежский институт МВД России; Россия, Воронеж, тел.: (473)262-33-79, e-mail: dumv@comch.ru

Пешкова Надежда Владимировна, адъюнкт кафедры высшей математики, Воронежский институт МВД России; Россия, Воронеж, тел.: (473)262-33-79

Калач Андрей Владимирович, д-р хим. наук, доц., Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473) 236-33-05, e-mail: AVKalach@gmail.com

Чудаков Александр Александрович, ст. преп. кафедры пожарной безопасности в строительстве, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps@mail.ru

	Выход						
	a_1b_1	a_1b_2	...	a_2b_1	a_2b_2	...	a_kb_m
S_0	c_{11}^0	c_{12}^0	...	c_{21}^0	c_{22}^0	...	c_{km}^0
S_1	c_{11}^1	c_{12}^1	...	c_{21}^1	c_{22}^1	...	c_{km}^1
...
S_n	c_{11}^n	c_{12}^n	...	c_{21}^n	c_{22}^n	...	c_{km}^n

Количество платежных матриц определяется количеством возможных состояний автомата (S_0, S_1, \dots, S_n):

$$p(S_0) = \begin{pmatrix} c_{11}^0 & c_{12}^0 & \dots & c_{1m}^0 \\ c_{21}^0 & c_{22}^0 & \dots & c_{2m}^0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1}^0 & c_{n2}^0 & \dots & c_{nm}^0 \end{pmatrix}, \dots, \dots,$$

$$p(S_n) = \begin{pmatrix} c_{11}^n & c_{12}^n & \dots & c_{1m}^n \\ c_{21}^n & c_{22}^n & \dots & c_{2m}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{k1}^n & c_{k2}^n & \dots & c_{km}^n \end{pmatrix}.$$

Целью моделирования является поиск таких стратегий управления объектом-автоматом, которые дадут минимальный проигрыш при возникновении ЧС.

3. Предпосылки моделирования. В качестве примера приложения данной модели рассмотрим моделирование работы Зейской ГЭС, режимы водосброса которой устанавливаются Амурским бассейновым водным управлением.

Крупные наводнения на реке Зeya происходят каждые 7-10 лет, данные о них представлены в табл. 1:

Таблица 1.

Наводнения на реке Зeya

Год	Максимальный суточный приток (м ³ /сек)
1923	10400
1928	13900
1938	10700
1953	12700
1956	10700
1972	12300
1974	10700
1976	10370
1982	11260
1984	13700
1987	11100
1990	11990
2007	15200
2013	11700

Для сравнения приведем значения среднегодового расхода воды некоторых рек мира (табл. 2).

Таблица 2.

Среднегодовой расход воды некоторых рек мира

Река	Водосток м ³ /с
Амазонка	220 000
Енисей	19 800
Лена	16 350
Миссисипи	12 743
Обь	12 492
Волга	8 060
Дунай	6 700
Нил	2 830
Дон	1 000
Воронеж	70
Усманка	1,9
Зeya	896 (зимой – 1,5)

Особенностью реки Зeya является то, что зимой ее приток может составлять всего 2 м³/с. Т.е. она превращается в ручей, от которого никак нельзя ожидать опасности. Весеннее таяние снега приводит к повышению приточности Зeya до 1000 м³/с, однако и это не приводит к ее разливу. Основной причиной наводнений на Дальнем Востоке являются муссонные дожди – ветры, несущие массы влажного воздуха с Тихого океана. В этот период Зeya превращается в реку типа Миссисипи, выходит из берегов и поднимается над меженью на 6-11 метров. Именно необходимость водорегулирования привело правительство СССР в 1964 г. к принятию решения о начале строительства ГЭС в Приамурье. При строительстве Зейской плотины предполагалось ее использование в первую очередь как противопаводкового сооружения, а уже во вторую очередь – как продающую электроэнергию для компенсации эксплуатационных расходов ГЭС. Основные характеристики Зейского водохранилища [5] показаны в табл. 3.

Таблица 3.

Основные характеристики Зейского водохранилища

Обозначение	Характеристика	Уровень, м	Объем, км ³
ФПУ	Форсированный подпорный уровень, предельная отметка наполнения водохранилища при прохождении половодий редкой повторяемости, м	322,1	87,38
НПУ	Нормальный подпорный уровень, отметка заполненного водохранилища, м	315	68,4
УМО	Уровень мёртвого объёма, отметка предельной сработки водохранилища в зимний период, м	299	49,12

Схема Зейского гидроузла показана на рис. 1.

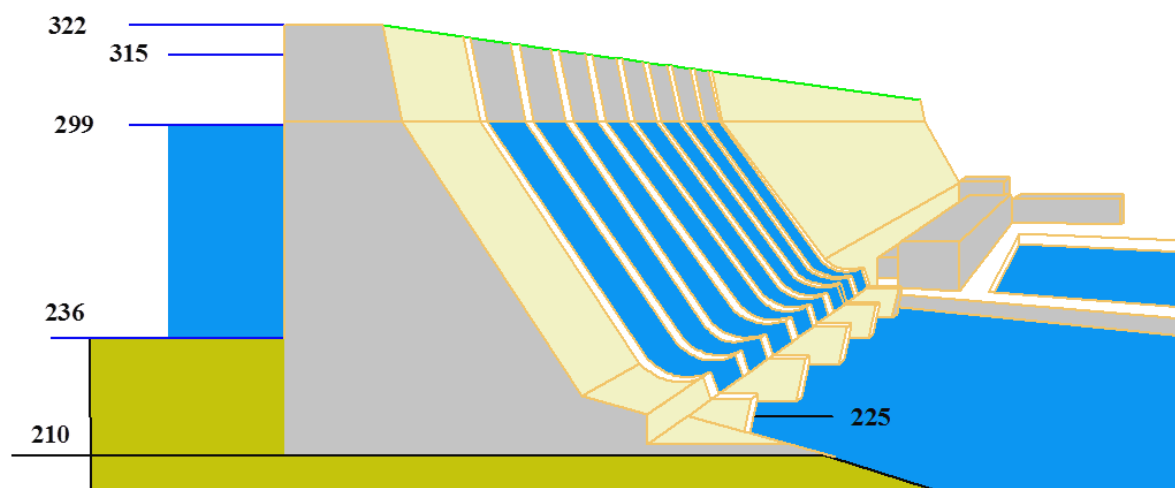


Рис. 1. Схема Зейского гидроузла

При общей высоте плотины – 112 м она удерживает столб воды в 86 м ($87,38 \text{ км}^3$) из которого 63 м относятся к так называемому уровню мертвого объема (УМО), т.е. уровню, ниже которого вода не может опускаться по техническим причинам. Таким образом, проектные возможности Зейской плотины позволяют регулировать высоту водохранилища в пределах 23 м (или от 299 до 322 м над уровнем моря), что, в свою очередь, позволяет контролировать объемы до $38,26 \text{ км}^3$ воды (полная емкость водохранилища).

Нетрудно посчитать, что при среднегодовом притоке реки $896 \text{ м}^3/\text{с}$ за один год в водохранилище поступает:

$$896 \text{ м}^3/\text{с} \times 60 \text{ с} \times 60 \text{ мин} \times 24 \text{ ч} \times 365 \text{ сут} = 28\,256\,256\,000 \text{ м}^3 = 28 \text{ км}^3$$

Другими словами, если высушить реку Зeya ниже плотины, то все равно мы не сможем за один год заполнить водохранилище до максимального уровня (ФПУ – форсированный подпорный уровень). В период с 27 мая по 1 октября злополучного 2013 года в водохранилище поступило всего 36 км^3 , и если бы оно заполнялось от отметки УМО–299, то это никак не могло бы привести ни к отметке ФПУ–322, ни к ЧС. Таким образом, с полной уверенностью можно сказать, что к проектировщикам плотины претензий быть не может. Она спроектирована с учетом местных климатических условий и обладает большим запасом прочности и резервами как регионально значимое противопаводковое сооружение.

В настоящее время Зейский гидроузел принадлежит ОАО «РусГидро» [5], которое, естественно, считает, что основным видом деятельности Зейской ГЭС должно является производство электрической и тепловой энергии. Зейская ГЭС имеет 6 гидроагрегатов общей мощностью 1330 МВт. Для нормальной работы турбин гидроагрегатов требуется напор (НПУ – нормальный подпорный уровень) $78,5 \text{ м}$ (т.е. 315 м над уровнем моря). Мини-

мальный напор работы установлен в $74,5 \text{ м}$ (311 м над уровнем моря). Другими словами, для эффективной работы электростанции администрация должна постоянно поддерживать уровень воды водохранилища на отметке НПУ $315 \pm 4 \text{ м}$. В этом случае регулируемый объем водохранилища уменьшается уже до 20 км^3 . Допустим, что уровень воды весь год остается на отметке НПУ – 315 м . Тогда, учитывая, что расход воды через одну турбину составляет около $300 \text{ м}^3/\text{с}$, получим максимальный объем водохранилища, срабатываемый за один год 5-ю турбинами (одна всегда в ремонте):

$$5 \times 300 \text{ м}^3/\text{с} \times 60 \text{ с} \times 60 \text{ мин} \times 24 \text{ ч} \times 365 \text{ сут} = 47\,304\,000\,000 \text{ м}^3 = 47 \text{ км}^3$$

Очевидно, что практически таких показателей достичь невозможно. Поэтому с этого момента деятельность администрации ГЭС переходит из области рутинной работы в область игры с природой. Как видно, нормального годового притока реки Зeya в 28 км^3 недостаточно для постоянной поддержки НПУ–315 и максимальной загрузки генераторов. Естественным выходом в этой ситуации остается стратегия аккумуляции воды в дождливое время для ее последующего использования в безводный период. Для этого водохранилище располагает свободными 38 км^3 .

Однако, как мы уже знаем, эффективная работа генераторов ограничена уровнями $74,5 \text{ м}$ – $84,5 \text{ м}$. Т.е. в резерве остаются только 20 км^3 , и это при колоссальном сезонном разбросе приточности реки Зeya от 2 до $11\,000 \text{ м}^3/\text{с}$. Очевидно, что холостой водосброс весной для подготовки к летним муссонам – это рискованное мероприятие, ведь лето может оказаться сухим.

Но, с другой стороны, если пройдет муссон, а водохранилище будет заполнено, придется открывать аварийные водосбросы и затапливать нижележащие территории. А это уже ЧС, за которую тоже необходимо отвечать, т.к. гидроузел не выполняет свое проектное назначение.

Цена вопроса – выработанные и реализованные киловатты электроэнергии. Приведем качественную оценку. Максимальная гипотетическая мощность, которую может достигнуть Зейская ГЭС, выработав 47 км^3 на 5 турбинах, составляет:

$$5 \times 225 \text{ МВт} \times 24 \text{ ч} \times 365 \text{ сут} = 9\,855\,000 \text{ МВт} = 9,855 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}.$$

Проектная среднегодовая выработка для Зейской ГЭС установлена в 4,91 млрд кВт·ч. Игра с природой позволила администрации получить в 2010 г. – 6,14 млрд кВт·ч, в 2011 г. – 5,04 млрд кВт·ч, в 2012 г. – 5,83 млрд кВт·ч, в 2013 г. – 6,86 млрд кВт·ч. Промышленность Амурского региона в настоящее время не способна переработать такие мощности, и поэтому часть электроэнергии продается по низкой цене в Китай. Т.е. даже Китай остается в выигрыше. Проигравшими стали только жители затопленных наводнением территорий.

4. Игровая модель. Рассмотрим данную ситуацию с точки зрения теории конфликтов. Допустим, что водохранилище может находиться в следующих состояниях:

S_0 – меньше УМО;

S_1 – состояние ниже НПУ;
 S_2 – состояние НПУ;
 S_3 – состояние выше НПУ, но до ФПУ;
 S_4 – состояние выше ФПУ (плотина разрушена).

Игроками выступают, с одной стороны, природа, а с другой – администрация ГЭС. В данном случае представителем природы выступает река Зeya, состояние которой характеризуется ее притоком в водохранилище. Другими словами, стратегиями природы является управление притоками реки Зеи:

a_0 – притока практически нет (до $1000 \text{ м}^3/\text{с}$);
 a_1 – нормальный приток ($1500 - 2500 \text{ м}^3/\text{с}$);
 a_2 – аномальный приток (более – $4000 \text{ м}^3/\text{с}$).

В свою очередь, администрация ГЭС имеет следующие стратегии:

b_0 – закрыть плотину;
 b_1 – открыть гидроузлы;
 b_2 – открыть гидроузлы и холостой водосброс.

Конечный автомат данной модели имеет вид:

	Вход								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
	a_0b_0	a_0b_1	a_0b_2	a_1b_0	a_1b_1	a_1b_2	a_2b_0	a_2b_1	a_2b_2
S_0	S_0	S_0	S_0	S_1	S_0	S_0	S_1	S_1	S_0
S_1	S_1	S_0	S_0	S_2	S_1	S_1	S_2	S_2	S_1
S_2	S_2	S_1	S_1	S_3	S_2	S_2	S_3	S_3	S_2
S_3	S_3	S_2	S_2	S_4	S_3	S_3	S_4	S_4	S_3
S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4

	Выход								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
	a_0b_0	a_0b_1	a_0b_2	a_1b_0	a_1b_1	a_1b_2	a_2b_0	a_2b_1	a_2b_2
S_0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
S_1	-1	1	1-x	-1	1	1-x	-1	1	1-x
S_2	-1	1	1-x	-1	1	1-x	-1	1	1-x
S_3	-1	1	1-x	-10	1	1-x	-10	-10	1-x
S_4	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10

Рассмотрим правила заполнения первых 3-х колонок по входу автомата. Они определяют изменение состояния водохранилища в зимний период, когда приток очень мал. В этом случае при закрытой плотине состояние водохранилища не меняется, а при открытых водосбросах уровень понижается на 1 ед.

Колонки 4–6 определяют изменение состояния водохранилища при нормальном притоке ($1500 - 2500 \text{ м}^3/\text{с}$). В этом случае весь приток может быть сработан гидроузлом. При закрытой плотине уровень будет повышаться, а при холостых спусках – понижаться.

Колонки 7–9 определяют изменение состояния водохранилища при аномальном притоке (более $4000 \text{ м}^3/\text{с}$). В этом случае стабилизировать уро-

вень водохранилища можно только холостым водосбросом, в противном случае он будет повышаться.

Выходные значения автомата определяют затраты администрации на обслуживание ГЭС (-1 ед.) и ликвидацию последствий прорыва наводнения (-x ед.). Таким образом, в зависимости от состояния автомата на выходе мы получим следующие платежные матрицы игры с природой:

$$p(S_0) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix},$$

$$p(S_1) = p(S_2) = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1-x \\ -1 & 1 & 1-x \\ -1 & 1 & 1-x \end{pmatrix},$$

Таблица 4.

$$p(S_3) = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1-x \\ -10 & 1 & 1-x \\ -10 & -10 & 1-x \end{pmatrix},$$

$$p(S_4) = \begin{pmatrix} -10 & -10 & -10 \\ -10 & -10 & -10 \\ -10 & -10 & -10 \end{pmatrix}.$$

Стратегии действий администрации ГЭС (в зависимости от состояния водохранилища)

Состояния водохранилища	Оптимальные стратегии администрации ГЭС
S ₁ – состояние ниже НПУ	b ₁ – работа гидроагрегатов
S ₂ – состояние НПУ	b ₁ – работа гидроагрегатов
S ₃ – состояние выше НПУ, но до ФПУ	b ₂ – работа гидроагрегатов + холостой сброс

Дальнейший анализ игр проводится при естественном предположении, что мы знаем смешанные стратегии природы. Практически в рассматриваемой ситуации несложно провести статистический анализ наводнений в регионе по данным Гидрометцентра с 1930 г.

Решение игры S₀ показывает, что в засушливый период администрации ГЭС необходимо принимать меры по скорейшему наполнению водохранилища и запуску гидроагрегатов.

Решения игры S₁ зависят от значения х-затрат на ликвидацию наводнения ниже плотины. Поскольку в настоящее время администрация ГЭС не отвечает за последствия ЧС, вызванных наводнениями, то примем х=0. В этом случае администрации ГЭС выгодно придерживаться стратегий в зависимости от состояния водохранилища, представленных в табл. 4:

Холостой сброс в последнем случае используется исключительно для предотвращения наполнения водохранилища выше ФПУ. Очевидно, что превышение ФПУ приведет к разрушению плотины, что никак не может входить в бизнес-планы администрации ГЭС.

Как видно из графика наполнения водохранилища за период лето–осень–зима 2013 г., именно такие стратегии и используются на практике при эксплуатации данного гидротехнического сооружения (рис. 2).

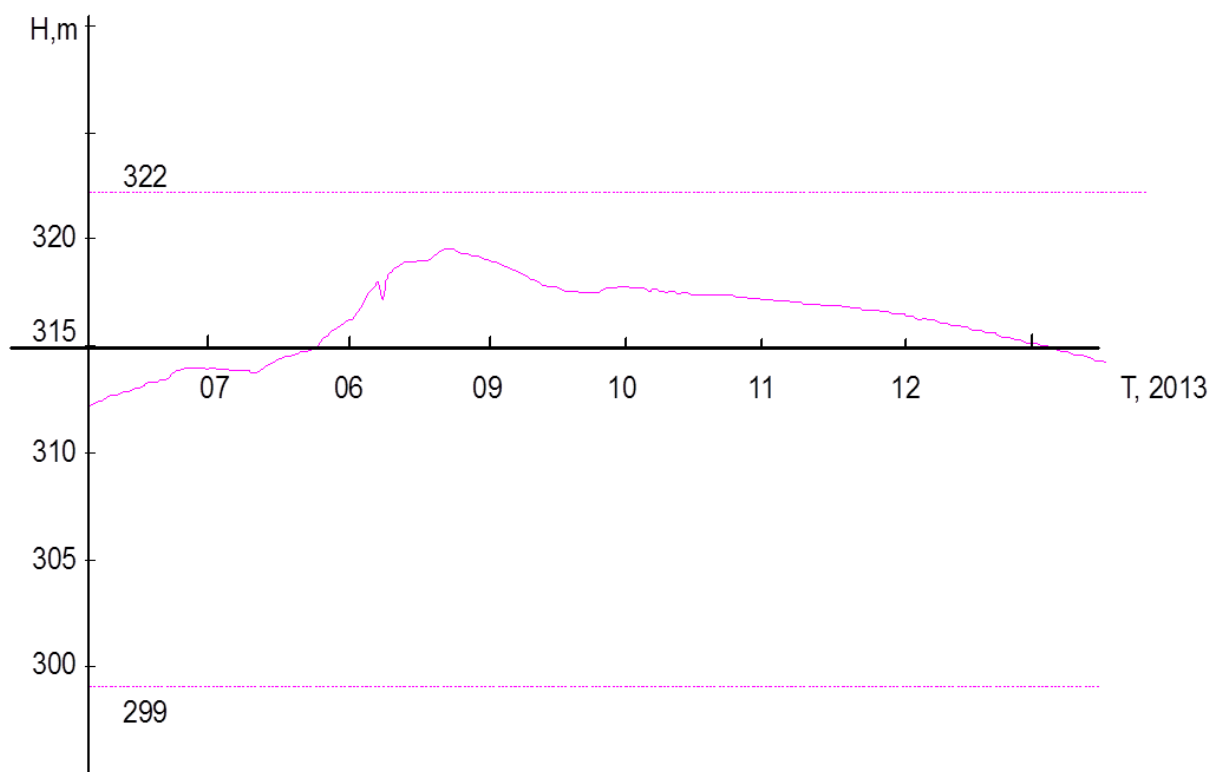


Рис. 2. График наполнения водохранилища за период лето–осень–зима 2013 г.

Это связано с тем, что в настоящее время данная ГЭС не функционирует как противопаводковая. Основной ее целью является извлечение прибыли при продаже электроэнергии.

Для увеличения эффективности ее работы как противопаводковой предлагается ввести штрафные коэффициенты в платежную матрицу игры. В данном случае они обозначены через $1 < x < 10$. Тогда оптимальной стратегией при S_3 будет b_1 – работа гидроагрегатов (без холостых сбросов). Поскольку в этом случае повышается вероятность превышения ФПУ, то естественным выходом из создавшегося положения является снижение уровня предполоводной сработки водохранилища. Напомним, что в 2013 г. этот уровень составил 310,32 м.

5. Имитационная модель Stateflow.

В принципе, проблема определения оптимальных стратегий администрации ГЭС может быть решена аналитически. Для этого необходимо поставить оптимизационную задачу с целевой функцией

$$F = a_i p_k b_k \rightarrow \max$$

и естественными ограничениями $\sum a_i = \sum b_i = 1$.

Решения данной оптимизационной задачи дают оптимальные стратегии администрации b_k^* . Но в данном случае мы имеем не одну, а пять целевых функций, зависящих от состояния S_k водохранилища. Зная плотность распределения вероятностей для состояний $f(S)$, можно вычислить среднее значение целевой функции $\langle F \rangle = \sum Ff$. Однако функция $f(S)$ зависит от состояний S_k , зависящих, в свою очередь, от стратегий b_k , которые мы, собственно, и хотели бы вычислить. Получается замкнутый круг рассуждений, нахождение аналитического решения в котором пока не представляется возможным.

В связи с этим была построена компьютерная имитационная модель ГЭС в виде конечного автомата и проведен ряд численных экспериментов для определения значения целевой функции при различных возможных значениях стратегий природы и администрации. Блок-схема модели ГЭС, построенная с помощью Matlab/Simulink/Stateflow, показана на рис. 3.

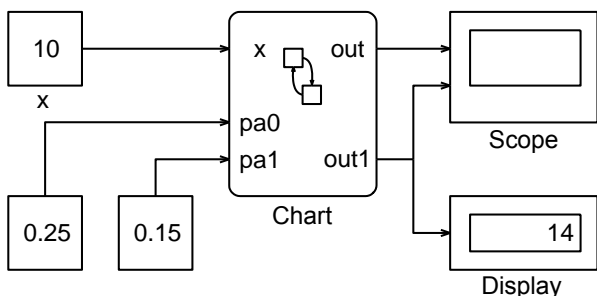


Рис. 3. Simulink блок-схема модели Зейского гидроузла

Входными данными модели являются:
 x – величина штрафных затрат на восстановление последствий ЧС;

$pa0$ – вероятность малого притока;

$pa1$ – вероятность нормального притока.

Выходом являются:

out – текущее состояние водохранилища;

$out1$ – суммарный выигрыш ГЭС.

На рис. 4. показана Stateflow-диаграмма блока Chart [6]. Здесь:

k – счетчик;

a, b – стратегии соответственно природы и администрации;

$z1$ – логическая функция изменения состояния водохранилища.

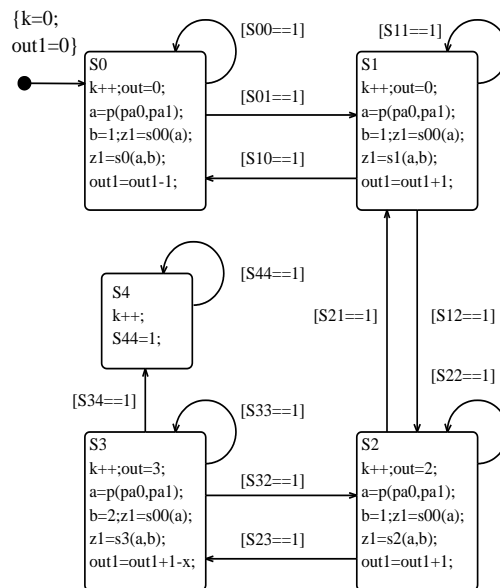


Рис. 4. Stateflow-диаграмма блока Chart

На рис. 5. показана функция $y=p(z0,z1)$, которая управляет стратегиями природы в зависимости от вероятности наступления ЧС.

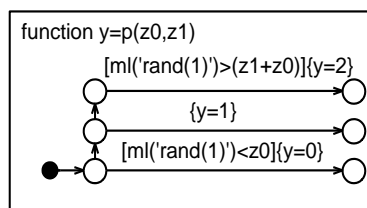


Рис. 5. Вероятностная функция управления стратегиями природы

Аналитически данная функция записывается следующим образом:

$$y(pa0, pa1) = \begin{cases} 0, & \text{если } rand \in [0, pa0); \\ 1, & \text{если } rand \in [pa0, pa0 + pa1]; \\ 2, & \text{если } rand \in (pa0 + pa1, 1]. \end{cases}$$

Функции веса ребер задаются выходными данными автомата, например:

$$s_0(a, b) = \begin{cases} S_{00}=1, & \text{если } (a=0)\&(b=0);(a=0)\&(b=1);(a=0)\&(b=2); \\ & (a=1)\&(b=1);(a=1)\&(b=2);(a=2)\&(b=2)); \\ S_{01}=1, & \text{если } (a=1)\&(b=0);(a=2)\&(b=0);(a=2)\&(b=1)). \end{cases}$$

При моделировании использовался временной интервал k в 20 шагов. Результаты моделирования дают среднее значение затрат администрации $F = 14 \pm 3$ ед. и зависят от штрафного коэффициента x . Однако, несмотря на потенциальные убытки, доминантные стратегии администрации ГЭС на получение прибыли не изменяют среднего значения состояния водохранилища $\langle s \rangle = 1.5$. А это означает, что на ГЭС с вероятностью 0.15 ЧС будут возникать и в будущем.

6. Выводы. Таким образом, по результатам моделирования можно сделать вывод, что при существующей схеме управления ГЭС не может эффективно противодействовать возникновению ЧС, поскольку нацеленность администрации исключительно на прибыль не позволяет гидроузлу выполнять водорегулирующие функции. Даже изменение структуры целевой функции, т.е. добавление количественной ответственности администрации ГЭС за последствия повышения уровня нижнего бьефа серьезно не меняет ситуации.

Конечно, предложенная модель имеет качественный характер описания проблемы. На практике все оказывается намного сложнее. Необходимо отметить, что Зейская ГЭС является федерально значимым объектом, администрация которой не работает в изоляции. С одной стороны, ГЭС является филиалом ОАО «РусГидро» и действует в соответствии с утвержденным Положением. Согласно этому документу основным видом деятельности ГЭС является: «поставка (продажа) электрической энергии и мощности по установленным тарифам в соответствии с торговым графиком (плановым почасовым производством) и командами системного оператора на управление технологическими режимами работы объектов электроэнергетики».

Далее Положение дает ГЭС право осуществлять еще более 20 видов деятельности, (в том числе и не связанных с энергетикой) начиная от «перевозок пассажиров» и «оказания услуг связи» и заканчивая «организацией и проведением оборонных мероприятий по вопросам ... защиты сведений, составляющих государственную тайну». Однако в данном положении ни слова не сказано о паводках, муссонах и наводнениях и о правах и обязанностях руководства ГЭС при работе в условиях ЧС.

С другой стороны, ГЭС в период пропуска паводка осуществляет информационный обмен и взаимодействие с органами власти, МЧС России,

Амурским бассейновым водным управлением, Амурским Гидрометцентром, Управлением эксплуатации Зейского водохранилища [7].

Другими словами, вопросы о величине холостых водосбросов, уровне предполоводной сработки водохранилища решаются или коллегиально, или в строгом соответствии с нормативными документами. Так, например, утвержденные в 1984 г. Министерством мелиорации и водного хозяйства РСФСР «Правила использования водных ресурсов (ПИВР)» устанавливают предполоводную сработку Зейского водохранилища до отметки 310 м. И эти правила никто не отменял.

Необходимо отметить и то, что в настоящее время ГЭС решает множество дополнительных задач, о которых при проектировании и не подозревали [8, 9]. Например, для поддержания 65 км судоходства до устья правого Уркуна в навигационный период с 1 мая по 10 октября устанавливается обязательный минимальный расход в 640 м³/с, что приводит к дополнительной сработке водохранилища. После запуска гидроагрегатов Бурейской ГЭС появляется проблема эффективного перераспределения мощностей и комплексного использования водохранилищ. Другими словами, водопускной режим Зейской ГЭС уже зависит от работы Бурейской ГЭС, которая находится от нее на расстоянии 440 км. В настоящий момент это связано с тем, что основные энергетические потребители находятся на востоке региона в тысяче километров от самих ГЭС. Однако самой главной задачей в ближайшем будущем для Зейской ГЭС станет энергообеспечение космодрома «Восточный».

Данный космодром строится на расстоянии 200 км вниз по течению и располагается на правом берегу реки Зея. Минимальное расстояние от границы космодрома до реки – 2 км. Расстояние от стартового комплекса РН «Союз-2» (Площадка №1) до реки – 12 км. Расстояние от Кислородно-азотного завода (Площадка №3) до реки – 10 км.

Это накладывает дополнительную нагрузку на ГЭС как по энергоснабжению, так и противопожарной безопасности и самого космодрома, и его нового 100 000 ч. города. Как видно из вышесказанного комплекс задач возникающих в регионе носит глобальный характер, и возлагать вину за все возникающие ЧС на администрацию ГЭС было бы не совсем корректно.

Библиографический список

1. **Думачев, В. Н.** Ситуационное моделирование прорыва противопаводковой дамбы во вре-

References

1. **Dumachev, V. N.** Situationsnoe modelirovanie proryva protivopavodkovoy dambyi

мя аномального наводнения на Дальнем Востоке летом 2013 г. / В. Н. Думачев, Н. В. Пешкова, А. В. Калач, А. А. Чудаков // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – №4(9). – С. 35–39.

2. **Дынкин, Е. Б.** Марковские процессы / Е. Б. Дынкин. – М.: Физматлит, 1963. – 860 с.

3. **Нейман, Дж. фон** Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн. – М.: Наука, 1970. – 708 с.

4. **Кобринский, Н. Е.** Введение в теорию конечных автоматов / Н. Е. Кобринский, Б. А. Трахтенброт. – М.: Физматгиз, 1962. – 404 с.

5. **Русгидро. Бурейская ГЭС. Общие сведения.** – (<http://www.burges.rushydro.ru/>). – (10.03.2014).

6. **Рогачев Г. Н.** Stateflow 5.0. Руководство пользователя. (<http://matlab.exponenta.ru/stateflow/book1>). – (10.03.2014).

7. **Максимов, И. А.** Консультативное обслуживание населения по вопросам безопасности при чрезвычайных ситуациях / Максимов И. А., А. В. Краснокутский, Удилова И. Я. // Вестник Санкт-Петербургского Университета ГПС МЧС России. – 2014. – №1. – С. 5-12.

8. **Колар, Г.** Двойное предназначение. // Энерго-Инфо. – 2008. – №12(24). – С. 10–13.

9. **Калач, А. В.** Особенности моделирования загрязнения водных объектов с использованием геоинформационной специализированной системы «MIKE SHE» / А. В. Калач, Е. С. Карпова // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2011. – Т. 18. – №2. – С. 44–50.

vo vremya anomalnogo navodneniya na Dalnem Vostoke letom 2013 g. / V. N. Dumachev, N. V. Peshkova, A. V. Kalach, A. A. Chudakov // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. – 2013. – №4(9). – S. 35–39.

2. **Dyinkin, E. B.** Markovskie protsessyi / E. B. Dyinkin. – M.: Fizmatlit, 1963. – 860 s.

3. **Neyman, Dzh. fon** Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie / Dzh. fon Neyman, O. Morgenshtern. – M.: Nauka, 1970. – 708 s.

4. **Kobrinский, N. E.** Vvedenie v teoriyu konechnykh avtomatov / N. E. Kobrinский, B. A. Trahtenbrot. – M.: Fizmatgiz, 1962. – 404 s.

5. **Rusgidro. Bureyskaya GES.** Obschie svedeniya. – (<http://www.burges.rushydro.ru/>). – (10.03.2014).

6. **Rogachev G. N.** Stateflow 5.0. Rukovodstvo polzovatelya. (<http://matlab.exponenta.ru/stateflow/book1>). – (10.03.2014).

7. **Maksimov, I. A.** Konsultativnoe obsluzhivanie naseleniya po voprosam bezopasnosti pri chrezvyichaynykh situatsiyah / Maksimov I. A., A. V. Krasnokutskiy, Udilova I. Ya. // Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta GPS MChS Rossii. – 2014. – №1. – S. 5-12.

8. **Kolar, G.** Dvoynoe prednaznachenie. // Energo-Info. – 2008. – №12(24). – S.10–13.

9. **Kalach, A. V.** Osobennosti modelirovaniya zagryazneniya vodnykh ob'ektov s ispolzovaniem geoinformatsionnoy spetsializirovannoy sistemy «Mike she» / A. V. Kalach, E. S. Karpova // Problemy upravleniya riskami v tehnosfere. – 2011. – T.18. - №2. – S. 44–50.

STATEFLOW SIMULATION OF ZEYSKAYA HYDROELECTRIC POWER STATION IN DURING FLOODS

Dumachev V. N.,

PhD in Physics and Mathematics, Assoc. Prof.,
Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation;
Russia, Voronezh, tel.: (473)262-33-79, e-mail: dumv@comch.ru

Peshkova N. V.,

Adjunct,
Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation;
Russia, Voronezh, tel.: (473)262-33-79

Kalach A. V.,

D. Sc. in Chemistry, Assoc. Prof.,
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh, tel.: (473) 236-33-05, e-mail: AVKalach@gmail.com

Chudakov A. A.,

Senior Lecturer,
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh, e-mail: vigps@mail.ru

To describe the natural emergencies in this paper we propose a model that combines the theory of Markov chains, and game theory as finite-state machine. As an example, a model operation of hydroelectric power station in during floods is considered, and optimal strategy for its maintenance is determined.

Keywords: matrix games, extreme strategy, natural emergencies.