

УДК 51-77

ББК 22.17

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ СОЦИОПРИРОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ «ВОЛЖСКАЯ ГЭС – ВОЛГО-АХТУБИНСКАЯ ПОЙМА»

Решетникова Н. В.¹, Шульгин И. И.²

(Волгоградский Государственный Университет, Волгоград)

На основании первичного экспертного PEST+E анализа построен когнитивный граф и проведено имитационное моделирование неуправляемой динамики исследуемой системы. Предложены структурные изменения когнитивного графа, отражающие функционирование механизмов эколого-экономического управления, сдерживающих природную деградацию Волго-Ахтубинской поймы.

Ключевые слова: когнитивный анализ, имитационное моделирование, социоприродохозяйственная система, эколого-экономическое управление.

1. Введение

Предметом настоящего исследования является процесс релаксации пойменной природы Волго-Ахтубинской поймы (ВАП) после возмущения, вызванного скачкообразным снижением объема паводка вследствие введения в эксплуатацию Волжской ГЭС (ВГЭС). Введение каждой ГЭС каскада вызывало ступенчатое снижение среднего объема паводка. Последняя – ВГЭС - введена в действие в 1962 г.

¹Решетникова Надежда Владимировна, студент
(reshetnikovand@yandex.ru).

²Шульгин Илья Иванович, студент (iliashulgin@yandex.ru).

Основными особенностями природной динамики пойменных экосистем являются релаксационные эффекты, вызванные зависимостью пропускной способности их разветвленной гидросистемы от объема паводковых вод. Резкое снижение среднего и максимального объема паводка влечет за собой медленное снижение пропускной способности гидросистемы поймы вследствие деградации ее русел, что в свою очередь, постепенно снижает площадь паводкового затопления ее территории и почвенный влагозапас, являющийся ее системообразующим природным ресурсом.

Социохозяйственное развитие поймы, сопровождающееся активным постоянным водозабором наземных и подземных вод и антропогенным изменением рельефа (строительство дамб, засыпка водоемов), способствует деградации ее гидросистемы, снижению площади паводкового затопления территории и уменьшению почвенного влагозапаса.

Таким образом, современный гидрологический режим социоприродохозяйственной системы «Волжская ГЭС – Волго-Ахтубинская пойма» (СПХС ВГЭС-ВАП), определяемый хозяйственно-экономическими приоритетами, ведет к прогрессирующему обезвоживанию Волго-Ахтубинской поймы [4]. Для ослабления негативной системной динамики и стабилизации ситуации необходимо создание комплексной системы эколого-экономического управления [3].

2. Когнитивный анализ гидрологической ситуации в СПХС ВГЭС-ВАП

Первым этапом исследования проблемы в нестабильной и слабоструктурированной среде, которой является социоприродная динамика ВАП, служит когнитивный анализ.

На основании концептуальной структуризации знаний экспертов построен когнитивный граф системы, послуживший основой сценарного моделирования динамики, выявления потенциальных механизмов управления. Эвристическим методом концептуальной структуризации знаний экспертов при построении когнитивных карт выступал PEST+E-анализ [1].

В результате анализа были выделены основные подсистемы, а также наиболее значимые факторы системы, влияющие на объект исследования (Табл. 1).

Таблица 1. Наиболее значимые факторы модели СПХС «ВГЭС-ВАП»

№	Обозначения	Наименование фактора	Влияние на природу
Факторы, характеризующие экономику и технологическую сферы ЭЭС «ВГЭС-ВАП»			
1	n_1	Хозяйственно-экономическая деятельность в ВАП	-
2	n_2	Объем выработки электроэнергии ВГЭС	-
3	n_3	Емкость и вид паводка р. Волги	+
4	n_4	Внешняя среда	-
Факторы, характеризующие социальную и политическую сферы ЭЭС «ВГЭС-ВАП»			
1	n_5	Урбанизация в ВАП	-
2	n_4	Внешняя среда	-
Факторы, характеризующие экологическую сферу ЭЭС «ВГЭС-ВАП»			
1	n_6	Состояние природы ВАП	+
2	n_7	Запас влаги в почве ВАП	+
3	n_8	Пропускная способность гидро-системы ВАП	+
4	n_9	Площадь паводкового затопления территории	+

		ВАП	
5	n_{10}	Емкость годового стока р. Волги	+
6	n_{11}	Пропускная способность русла р. Ахтуба	+

Основными подсистемами СПХС ВГЭС-ВАП являются: социальная, техническая, хозяйственно-экономическая, природная, - группы акторов – жители ВАП, хозяйствующие субъекты (ХС) ВАП и ВГЭС, двухуровневая система управления гидрологическим режимом (межведомственная комиссия Министерства природных ресурсов по управлению Волжским гидрокаскадом – ХС ВГЭС – техническая подсистема ВГЭС). Общей гидрологической целью всех факторов СПХС является безопасное использование водных и природных ресурсов р. Волги и ВАП. Поскольку волжская вода является также и ресурсом природы ВАП, задачей экологического управления в СПХС является ее оптимальное распределение на непосредственное хозяйственно-экономическое и опосредованное (через природу) потребление при конкуренции ее факторов в краткосрочной и потенциальное сотрудничество в долгосрочной перспективе в условиях неопределенности гидрологического режима Волжского бассейна и природной динамики ВАП.

Высшим приоритетом СПХС является безопасность ВГЭС, достигаемая поддержкой уровня Волгоградского водохранилища (ВВ) в заданном диапазоне. Это требование, заставляющее снижать уровень ВВ перед весенним снеготаянием и не опускать его ниже нормы в условиях переменного и не всегда верно прогнозируемого режима половодья, чаще всего приводит к недостаточной емкости паводкового гидрографа. С другой стороны, этот же приоритет в условиях высокой воды может привести к превышению предельно допустимого для безопасной и безущербной социохозяйственной деятельности в ВАП значения ее затопляемой площади $S_{\text{пред}}$.

Общий долгосрочный экологический приоритет СПХС – сохранение природного режима ВАП – реализуется в кратко-

срочной перспективе максимизацией паводкового затопления ее поверхности. Важнейшей составляющей природного режима является ихтиологический, определяемый, главным образом, условиями затопления нерестилищ: оптимальным ихтиологическим режимом («рыбохозяйственной полкой» (РП)) является затопление заданной площади $S_{рх}$ в течение заданного периода времени $T_{рх}$. С момента зарегулирования р. Волги значения этих величин неуклонно снижаются, однако в краткосрочной перспективе сохранение ихтиологического режима считается безусловным требованием.

Экологический приоритет СПХС конкурирует с экономическими приоритетами ее факторов: максимизацией суммарного расхода воды ВВ через рабочую область ВГЭС, поддержанием заданного уровня воды в р. Волге, ростом хозяйственного водопотребления, расширения хозяйственных (незатопляемых) площадей ВАП, сопряженными с уменьшением объема паводкового гидрографа.

Когнитивный граф исследуемой системы представлен на рис. 1 (назначение вершин указано в табл. 1 в графе «Обозначения»).

Следует также отметить, что на рис. 1 отдельно выделены вершины n_4 и n_{10} . Данные вершины в совокупности отражают влияние внешней среды на динамику системы. Знаки определяют характер влияния.

На основании данного когнитивного графа, отражающего характер связей между основополагающими элементами СПХС «ВГЭС-ВАП», было проведено моделирование динамики исследуемой системы, а также обозначены основные теоретические аспекты для последующего детального проектирования механизмов эколого-экономического управления с целью сдерживания негативных тенденций в развитии системы.

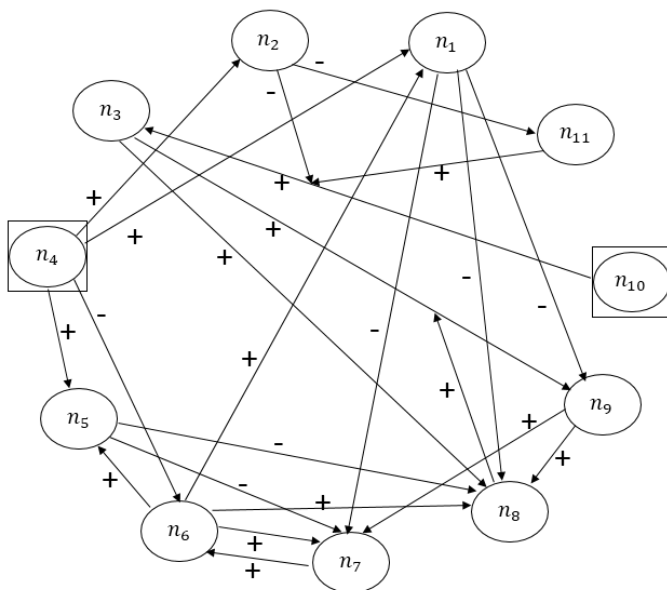


Рис. 1. Когнитивный граф динамики СПХС «ВГЭС-ВАП»

3. Модель динамики СПХС ВГЭС-ВАП

В целях обнаружения общих тенденций и закономерностей в развитии СПХС «ВГЭС-ВАП» когнитивный граф динамики был упрощен до 6 вершин. Результаты упрощения сведены в Табл. 2. В последующем моделирование было также проведено и для исходного графа, представленного на рис. 1.

Рассмотрим основные аспекты упрощенной модели.

Общее уравнение релаксационной динамики основных агрегированных показателей состояния исследуемой системы имеет следующий вид:

$$(1) \quad x(t+1) = \psi(x(t)) + x^e(t+1)$$

$x = (x_1, \dots, x_5)$ – элементы системы;

$\psi = (\psi_1, \dots, \psi_5)$ – внутренние процессы;

$x^e = (x_1^e, \dots, x_5^e)$ – внешние процессы;

Таблица 2. Подсистемы СПХС ВГЭС-ВАП

Переменная	Содержание	Соответствие с переменными из Табл. 1
x_1	Состояние природы ВАП	n_6
x_2	Хозяйственно-экономическая деятельность в ВАП	n_1
x_3	Урбанизация в ВАП	n_5
x_4	Запас влаги в почве ВАП	n_9, n_7
x_5	Эффективность усвоения воды	n_8, n_{11}
x_6	Внешняя среда	n_4

В модели будем полагать, что Емкость годового стока р. Волги (n_{10}) – величина постоянная. Отсюда вытекает, что Емкость и вид паводка р. Волги (n_3) тоже есть константа, равно как и Объем выработки электроэнергии ВГЭС (n_2).

Когнитивный граф упрощенной модели, принимает вид, представленный на рис. 2.

$x_6 = \text{sonst}$

$$\psi_i(x) = x_i \exp \left[r_i \left(1 - \frac{x_i}{K_i} \right) + \sum_{j=1}^5 \alpha_{ij} x_j(t) \right]$$

, где $r_i = \text{const} \forall i = 1, \dots, 5$ - скорость роста популяции i ;

Функция ψ соответствует уравнению популяционной динамики Ферхюльста, остальные – описывают взаимодействие основных подсистем СПХС.

$$f_i = p_i x_4(t) \exp(-q_i x_4(t))$$

, где $p_i = \text{const}$, $q_i = \text{const} \forall i = 1-5$ - экспериментально-определяемые коэффициенты;

Функция f_i описывает зависимость эффективности функционирования подсистем от системообразующего природного ресурса (запаса влаги в почве ВАП).

$$K_i = [K_i^0 - \sum_{j=1}^5 \beta_{ij} x_j(t)] f_i$$

$$x_i^s = \varphi_i([\sum_{j=1}^5 \gamma_{ij} x_j(t)] x_6)$$

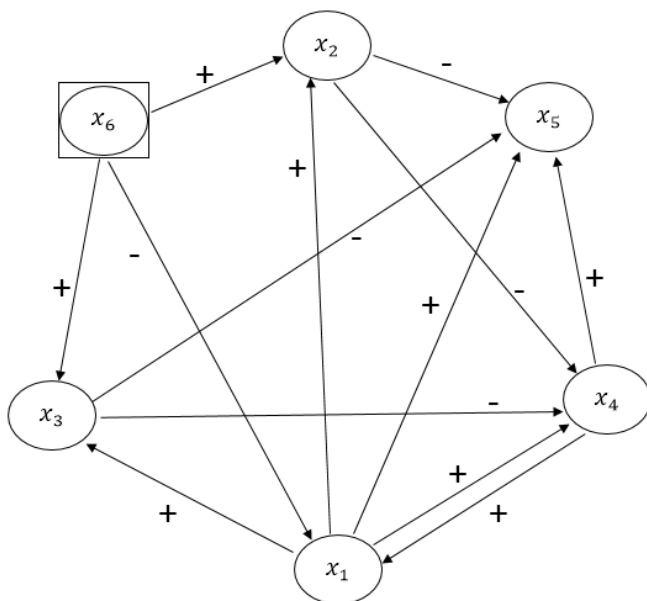


Рис. 2. Упрощенный когнитивный граф динамики СПХС «ВГЭС-ВАП»

$$\varphi(z) = \frac{z}{z+1} \gamma_i^0$$

Функция K_i описывает максимальную численность популяции, обусловленную средой вида.

K_i^0 - часть, определяемая площадью территории, которая задействована тем или иным фактором.

С учетом содержательного смысла коэффициентов системы (1) имеем:

$$p_i > 0 \quad \forall i = 1, 2, 3; \quad q_i > 0 \quad \forall i = 1 - 5;$$

$$i = 1: \alpha_{12} < 0; \alpha_{13} < 0;$$

$$i = 4: p_4 = 0; \alpha_{41} > 0; \begin{cases} \alpha_{42} < 0 \\ \alpha_{43} < 0 \end{cases}; \alpha_{44} = 0;$$

$$i = 5: p_5 = 0; \alpha_{51} > 0; \begin{cases} \alpha_{52} < 0 \\ \alpha_{53} < 0 \end{cases}.$$

Остальные коэффициенты принимаются равными 0.

4. Механизмы эколого-экономического управления

На основе первичного (упрощенного) когнитивного графа, представленного на рис. 2. было проведено имитационное моделирование динамики исследуемой системы в незарегулированном режиме. Результаты моделирования представлены на рис. 3. Анализ рисунка выявил, что общей тенденцией к развитию системы является снижение общего запаса влаги в почве ВАП (x_4), следствием чего является деградация русел и остепнение территории.

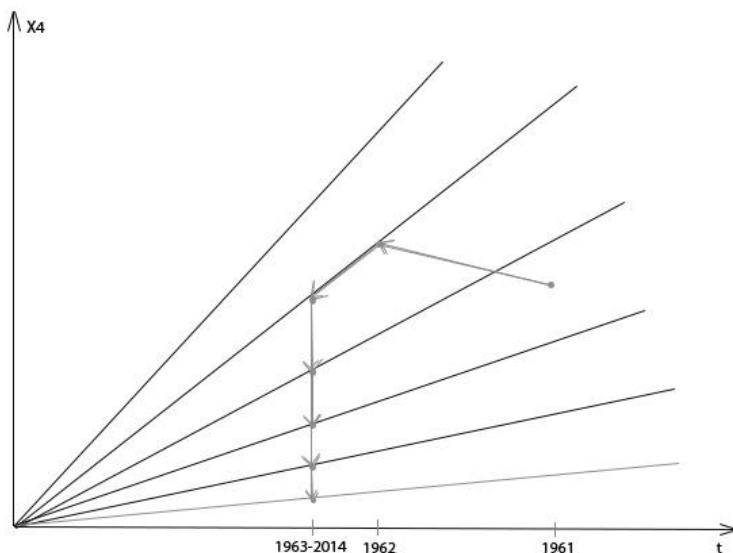


Рис. 3. Динамика развития СПСХ «ВГЭС-ВАП» (упрощенная модель)

На основе когнитивного графа (рис. 1) с использованием результатов гидродинамического моделирования [2] и результатов синтеза механизмов эколого-экономического управления [3] было также проведено имитационное моделирование природной динамики ВАП в незарегулированном режиме (1), природной динамики в условиях действия ВГЭС (2), динамики ЭЭС «ВГЭС-ВАП» с учетом урбанизационных факторов и хозяйст-

венно-экономической деятельности (3), а также динамики исследуемой системы с учетом проектируемых механизмов управления в условиях гармонических колебаний гидрологического режима Волжского бассейна с периодом 10 лет.

Результаты моделирования представлены на рис.4. Анализ рисунка показывает, что зависимость площади затопления от объема паводковых вод на 10-летнем интервале носит гистерезисный характер. Определяющие его геометрию характеристические линии сами характеризуют непостоянную пропускную способность гидросистемы ВАП. В результате уменьшения объема паводковых вод природная способность самоочистки снижается. Антропогенное вмешательство усиливает эту негативную тенденцию. Это актуализирует необходимость синтеза комплексной системы управления [2].

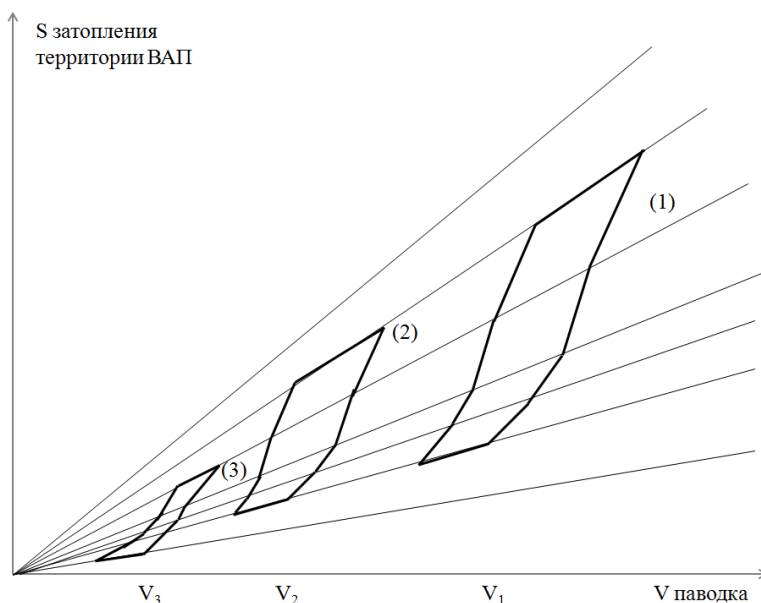


Рис.4. Зависимость площади затопления территории ВАП от суммарного объема паводковых вод.

Для того, чтобы компенсировать негативное влияние антропогенного фактора на состояние природы необходимо создавать целый комплекс механизмов эколого-экономического управления. В природной и технической системах – синтез и реализацию оптимального режима расхода воды через водосброс ГЭС (гидрографа), восстановление природной и создание искусственной гидросистемы ВАП (строительство паводковых дамб в руслах рек, расчистка естественных ериков, восстановление родников и озер, прокладка каналов, шлюзов, коллекторов); в социально-экономической системе – механизмы управления экономическим агентом (ЭА) – руководством ВГЭС, юридическое разделение субъектов и объектов управления, экологическое законодательство.

На рис.5. приведены результаты моделирования неуправляемой динамики (3), моделирования действия механизма эколого-экономического управления активным агентом (ВГЭС) [2] (2), а также результаты действия комплексного механизма (включая управление хозяйственно-экономической деятельностью и урбанизацией (1)) с учетом реально возможной локализации негативных процессов.

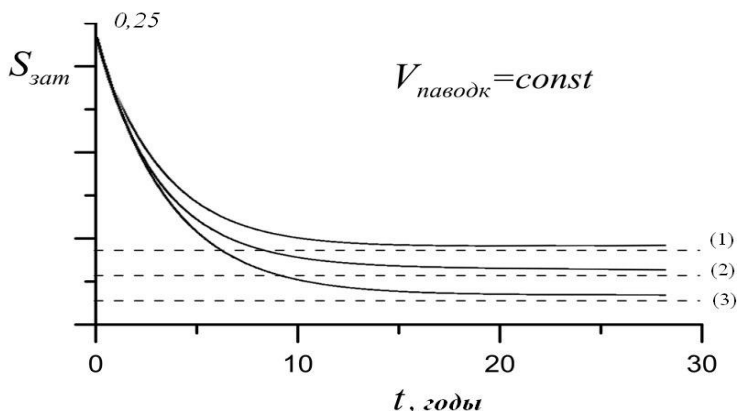


Рис.5. Зависимости площади затопления от времени

Литература

1. АВДЕЕВА З.К., КОВРИГА С.В. *Формирование стратегии развития социально-экономических объектов на основе когнитивных карт* // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – С. 184 (ISBN: 978-3-8443-5066-1).
2. ВОРОНИН А.А., ЕЛИСЕЕВА М.В., ХРАПОВ С.С., ПИСАРЕВ А.В., ХОПЕРСКОВ А.В., И.А. КОБЕЛЕВ И.А. *Задача управления гидрологическим режимом в эколого-экономической системе «Волжская ГЭС – Волго-Ахтубинская пойма». Ч. 1. Моделирование динамики поверхностных вод в период весеннего паводка* // Проблемы управления -2012 - № 5 – с.18–25.
3. ВОРОНИН А.А., ЕЛИСЕЕВА М.В., ХРАПОВ С.С., ПИСАРЕВ А.В., ХОПЕРСКОВ А.В. *Задача управления гидрологическим режимом в эколого-экономической системе «Волжская ГЭС – Волго-Ахтубинская пойма». Ч. 2. Синтез системы управления* // Проблемы управления -2012 - № 6 – с.19–25.
4. ЗЕМЛЯНОВ И.В., ГОРЕЛИЦ О.В., ПАВЛОВСКИЙ А.Е. *Анализ экологических последствий эксплуатации Волгоградского водохранилища для сохранения биоразнообразия основных водно-болотных территорий Нижней Волги* // Отчет о НИР ФГУ «ГОИН». – Москва, 2010. – 675 с.

MODEL OF DYNAMIC FOR THE SOCIAL, NATURAL AND ECONOMIC SYSTEM «VOLGA HYDROELECTRIC POWER STATION – VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN»

Nadegda Reshetnikova, Volgograd State University, Volgograd, student (reshetnikovand@yandex.ru).

Iliia Shulgin, Volgograd State University, Volgograd, student (iliashulgin@yandex.ru).

Abstract: Based on the primary expert analysis PEST + E built cognitive graph and conducted simulation uncontrollable dynamic of the studied system. Proposed structural changes in the cognitive graph reflecting the mechanisms of ecological and economic management constraining natural degradation Volga-Akhtuba floodplain.

Keywords: cognitive analysis, imitation modeling, social, natural and economic system, ecological and economic management.