

УДК:504.062:627.01+ 519.87

К РАЗРАБОТКЕ МАТРИЧНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

© 2011 А.Н. Гульков^{1,2}, А.В. Никитина^{1,2}, О.О. Щека^{1,2}

¹ Институт нефти и газа Дальневосточного государственного технического университета, г. Владивосток

² ЗАО «ДВНИПИ-нефтегаз», г. Владивосток

Поступила в редакцию 27.04.2011

В статье излагается новый обобщенный подход к оценке состояния природно-технической системы, начиная от стадии выбора площадки. Предложенная матричная математическая модель позволяет особенно детально отслеживать и анализировать изменения параметров, характеризующих рассматриваемую систему. Особое внимание уделяется комплексности оценки, дающей возможность как оценивать систему в фиксированный момент времени, так и прогнозировать ее изменение на основании полученных данных.

Ключевые слова: *математическая модель, природно-техническая система, оптимальное размещение, комплексная оценка*

В условиях стабильного экономического развития, интенсивного промышленного и ресурсного освоения регионов РФ, вопросы комплексной оценки экологического состояния района освоения и определение граничных нагрузок на экосистемы при новом строительстве объектов, являются одними из приоритетных направлений [1-5]. С позиций системного подхода строительство нового объекта на территории, ранее не подвергавшейся интенсивному промышленному освоению, формирует в данных условиях природно-техническую систему (ПТС), в структуре которой можно выделить техническую и природную подсистемы. При этом природные факторы во многом определяют технические параметры объекта еще на стадии выбора варианта размещения (сейсмостойчивость, ветровые, снеговые нагрузки и т.д.), в то время как интенсивное воздействие технического объекта на окружающую среду осуществляется на стадиях строительства, эксплуатации, ликвидации. На стадиях существования проекта (от инвестиционного замысла до ликвидации) влияние групп факторов на общее состояние ПТС различно, а вопросы оценки состояния системы на каждом из этапов являются актуальной задачей [5].

Гульков Александр Нефедович, доктор технических наук, профессор, директор. E-mail: alexdvgtu@mail.ru
Никитина Анна Владимировна, старший преподаватель кафедры проектирования, сооружения и эксплуатации нефтегазопроводов и хранилищ
Щека Оксана Олеговна, инженер кафедры охраны окружающей среды

Предложенный нами метод математической оценки состояния ПТС на этапах предпроектной подготовки, строительства и эксплуатации, позволяет прогнозировать развитие ПТС, а также возможность возникновения аварийных ситуаций. Для нахождения оптимального эколого-планировочного варианта размещения объекта может быть построена математическая модель, основанная на методе разбиения всех ключевых параметров ПТС, выявленных в результате экспертной оценки, на множества, объединяющие эти параметры по особенностям влияния на природно-техническую систему. Ниже приведена схема влияний множеств на ПТС (рис. 1).

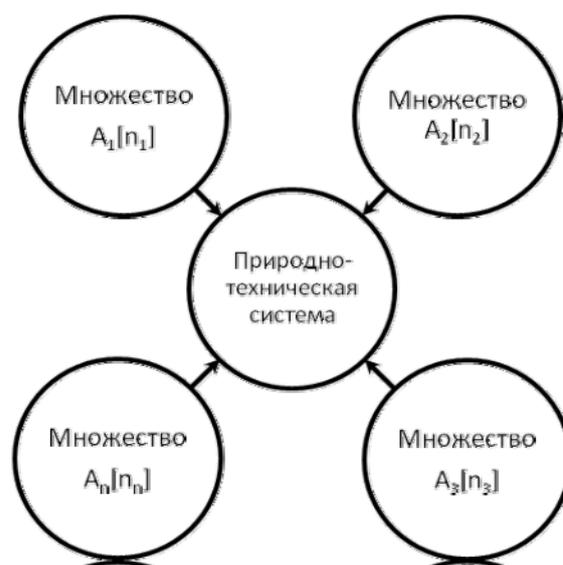


Рис. 1. Схема влияний множеств на ПТС

На ПТС оказывают влияние различные, существенные для ПТС группы параметров (факторов) (множеств: $A_1[n_1]$, $A_2[n_2]$, $A_3[n_3]$... $A_n[n_n]$). Множества содержат все параметры, необходимые для анализа взаимодействий между всеми подсистемами во время функционирования ПТС. Влияния параметров множеств на систему не равноценны между собой, поэтому необходимо учитывать значимость каждого параметра во множестве и множеств между собой, например, с помощью удельного

веса. Удельные веса параметров во множествах определяются путем анализа состояния объектов-аналогов, методами экспертных оценок. Анализируются параметры, изменение показателей которых приводит к изменению состояния системы в целом. Ниже представлена табл.1, в которой отражено, на какую подсистему влияет каждое множество, размерности множеств и обозначения удельного веса для параметров.

Таблица 1. Множества природно-технической системы

	Удельный вес параметра во множестве	Размерность множества	Природная подсистема	Техническая подсистема	ПТС
Множество A_1	$\beta_1^{(i)}$	n_1	A_i	A_k	A_1
Множество A_2	$\beta_2^{(i)}$	n_2	\dots A_j	\dots A_r	A_2
...
Множество A_n	$\beta_n^{(i)}$	n_n	$i, j \in [1 \dots n]$	$k, r \in [1 \dots n]$	A_n

Для дальнейшего рассмотрения параметров во множествах удобно записать параметры в виде вектора состояний (табл. 2).

Таблица 2. Вектора состояний

	Вектор состояний для множества	Вектор состояний для природной подсистемы	Вектор состояний для технической подсистемы	Вектор состояний для ПТС
Множество A_1	$a_1^1 a_2^1 \dots a_{n_1}^1$	$a_1^i a_2^i \dots a_{n_1}^i$ $a_1^j a_2^j \dots a_{n_1}^j$	$a_1^k a_2^k \dots a_{n_k}^k \dots$ $a_1^r a_2^r \dots a_{n_r}^r$	$a_1^1 a_2^1 \dots a_{n_1}^1$ $a_1^n a_2^n \dots a_{n_n}^n$
Множество A_2	$a_1^2 a_2^2 \dots a_{n_2}^2$			
...	...			
Множество A_n	$a_1^n a_2^n \dots a_{n_n}^n$			

Параметры множеств изменяются во времени $t = \overline{1, z}$, таким образом, зафиксировав состояния параметров в определенном временном отрезке, можно на основе векторов состояний записать матрицу состояний, где каждый вектор будет содержать параметры,

указанные с учетом времени. Вектор состояния является частным случаем матрицы состояния, так как отражает состояние системы в фиксированный момент времени. Определим размерности результирующих векторов и матриц (табл. 3).

Таблица 3. Размерности векторов состояний и матриц состояний

	Природная система	Техническая система	ПТС
Размерность вектора	$n_i + \dots + n_j$	$n_k + \dots + n_r$	$n_1 + \dots + n_n$
Размерность матрицы	$(n_i + \dots + n_j) * t$	$(n_k + \dots + n_r) * t$	$(n_1 + \dots + n_n) * t$

С учетом описанного выше матрицы для векторов состояний будут иметь вид соответственно для подсистем и ПТС (1-5):

$$A_1[n_1]: a_1^1 a_2^1 \dots a_{n_1}^1 \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{matrix} a_{11}^1 & a_{21}^1 & \dots & a_{n_1 1}^1 \\ a_{12}^1 & a_{22}^1 & \dots & a_{n_1 2}^1 \\ & & \dots & \\ a_{1z}^1 & a_{2z}^1 & \dots & a_{n_1 z}^1 \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

Матрица природной системы:

$$\left\{ \begin{matrix} a_{11}^i a_{21}^i & \dots & a_{n_1 1}^i & \dots & a_{11}^j a_{21}^j & \dots & a_{n_j 1}^j \\ a_{12}^i a_{22}^i & \dots & a_{n_1 2}^i & \dots & a_{12}^j a_{22}^j & \dots & a_{n_j 2}^j \\ & & & \dots & & & \\ a_{1z}^i a_{2z}^i & \dots & a_{n_1 z}^i & \dots & a_{1z}^j a_{2z}^j & \dots & a_{n_j z}^j \end{matrix} \right\} \quad (3)$$

Матрица искусственной системы:

$$\left\{ \begin{matrix} a_{11}^k a_{21}^k & \dots & a_{n_k 1}^k & \dots & a_{11}^r a_{21}^r & \dots & a_{n_r 1}^r \\ a_{12}^k a_{22}^k & \dots & a_{n_k 2}^k & \dots & a_{12}^r a_{22}^r & \dots & a_{n_r 2}^r \\ & & & \dots & & & \\ a_{1z}^k a_{2z}^k & \dots & a_{n_k z}^k & \dots & a_{1z}^r a_{2z}^r & \dots & a_{n_r z}^r \end{matrix} \right\} \quad (4)$$

Матрица ПТС:

$$\left\{ \begin{matrix} a_{11}^1 a_{21}^1 \dots a_{n_1 1}^1 & a_{11}^2 a_{21}^2 \dots a_{n_2 1}^2 & \dots & a_{11}^n a_{21}^n \dots a_{n_n 1}^n \\ a_{12}^1 a_{22}^1 \dots a_{n_1 2}^1 & a_{12}^2 a_{22}^2 \dots a_{n_2 2}^2 & \dots & a_{12}^n a_{22}^n \dots a_{n_n 2}^n \\ & & \dots & \\ a_{1z}^1 a_{2z}^1 \dots a_{n_1 z}^1 & a_{1z}^2 a_{2z}^2 \dots a_{n_2 z}^2 & \dots & a_{1z}^n a_{2z}^n \dots a_{n_n z}^n \end{matrix} \right\} \quad (5)$$

Для оценки матрицы состояний необходимо, учитывая удельный вес каждого параметра (например, в баллах) в векторе состояний, определить удельный вес каждого вектора состояний относительно матрицы состояний. Удельный вес каждого вектора (не результирующего) в элементе матрицы (1) определяется по формуле [6]:

$$U_{A_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \beta_i^{(j)} a_{n_i}^j}{\sum_{j=1}^{n_1+\dots+n_n} (\beta_1^{(j)} a_{n_j}^1 + \beta_2^{(j)} a_{n_j}^2 + \dots + \beta_n^{(j)} a_{n_j}^n)} \quad (6)$$

На основании рассчитанного удельного веса каждого вектора в матрице определяется иерархическая структура множеств, влияющих на состояние ПТС.

Таким образом, выделяются наиболее значимые векторы параметров в каждом множестве и наиболее значимые множества в каждой матрице, анализ которых позволяет оптимизировать задачу размещения технологического объекта.

В зависимости от отраслевой принадлежности промышленного объекта, социально-инфраструктурной освоенности региона, состояния окружающей среды значимость отдельных факторов природной или технической подсистем при оценке состояния ПТС будет различной, что прослеживается при «назначении» весовых коэффициентов.

Для того чтобы упростить процесс оценки параметров матриц состояний, определить «стабильность» положения ПТС, можно ввести вектора состояний с фиксированными значениями:

- вектора критических значений параметров;
- вектора эталонных значений параметров;
- вектора средних значений параметров.

Разница между фактическими значениями систем и эталонными (*критическими, нормальными*) может быть оценена с помощью метрик:

$$l_i = d(a_i^1, a_{im}^1) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} (a_i^1 - a_{im}^1)^2} \quad (7)$$

- простая метрика, пример для множества $A_1[n_1]$

$$l_i = d(a_i^1, a_{im}^1) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} (\beta_1^{(i)})^2 (a_i^1 - a_{im}^1)^2} \quad (8)$$

- метрика Минковского (используется весовой коэффициент), пример для множества $A_1[n_1]$ [7,8].

Множества параметров содержат в себе как простые параметры, отражающие состояние системы, так и параметры, оказывающие негативное влияние на систему. В общем случае, негативное влияние параметров множества на систему можно описать с помощью формулы:

$$w_{A_1} = f(\sum_{i=1}^{n_1'} (\beta_1^{(i)}, a_i^1)) \quad (9)$$

- негативное воздействие множества $A_1[n_1]$, n_1' , $n_1' \leq n_1$ - количество негативно воздействующих параметров множества, пример для множества $A_1[n_1]$

$$w_{A_1, A_2, \dots, A_n} = f(\sum_{i=1}^{n_1'} (\beta_1^{(i)}, a_i^1), \sum_{i=1}^{n_2'} (\beta_2^{(i)}, a_i^2), \dots, \sum_{i=1}^{n_n'} (\beta_n^{(i)}, a_i^n)) \quad (10)$$

- суммарное негативное воздействие всех множеств, $n_1' \leq n_1, n_2' \leq n_2, \dots, n_n' \leq n_n$ - количество негативно воздействующих параметров множеств [9].

Выводы: мы получили структурную математическую модель для абстрактной ПТС, позволяющую оценить состояние системы в каждый момент времени и сделать прогноз дальнейшего ее изменения. В общем случае, представленная математическая модель позволяет:

- оценить состояние ПТС в целом;
- отследить приближенность оцениваемых параметров к критическим и эталонным;
- спрогнозировать изменение зависимых параметров при изменении определяющих;
- отследить взаимное влияние параметров и множеств;
- оценить негативное влияние множеств на ПТС;
- построить иерархическую структуру множеств, влияющих на ПТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Золотых, Е.Б.* Математическая модель функционирования природно-технической системы, образованной горнодобывающим предприятием // <http://mining-media.ru/arhiv/1999/5/24> Журнал «Горная Промышленность».
2. *Самарский, А.А.* Математическое моделирование и вычислительный эксперимент // Вестник АН СССР. 1979. № 5. С. 38-49.
3. *Гайкович, А.И.* Основы оценки теории проектирования сложных технических систем // СПб.: НИЦ «МОРИНТЕХ», 2001. 432 с.
4. *Балацкий, О.Ф.* Моделирование социо-эколого-экономической системы региона / под ред. *В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой.* Монография // *О.Ф. Балацкий, Д.В. Бельшев, В.И. Гурман* и др. – М.: Наука, 2003. 175 с.
5. *Жердев, В.Н.* Перспективы моделирования природно-технических систем в целях оценки их состояния / *В.Н. Жердев, С.Д. Беспалов* // Вестник Воронежского государственного университета. Серия география и геоэкология. 2003. №1. С. 82-87.
6. *Адвин, В.В.* Математическое моделирование экосистем // Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. 80 с.
7. *Васильев, Н.Б.* Метрические пространства // Научно-популярный физико-математический журнал «Квант». 1990. С. 16-23.
8. *Лейхтвейс, К.* Выпуклые множества / Пер. с нем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 336 с.
9. *Графкина, М.В.* Теория и методы оценки геоэкологической безопасности создаваемых природно-технических систем. Автореф. дис. докт. техн. наук. – М.: 2009. 40 с.

TO THE DEVELOPMENT OF MATRIX MATHEMATICAL MODEL OF ESTIMATION THE STATE OF NATURAL-TECHNICAL SYSTEM

© 2011 A.N. Gulkov^{1,2}, A.V. Nikitina^{1,2}, O.O. Shcheka^{1,2}

¹ Oil and Gas Institute of Far-East State Technical University, Vladivostok

² JSC “DVNIPI-Neftegas”, Vladivostok

In article the new generalized approach to the estimation of natural-technical system state is set up, beginning from a stage of area choice. The offered matrix mathematical model allows to trace and analyze especially in details changes the parameters, characterizing considered system. The special attention is given to integrated approach of the estimation, giving the chance how to estimate system during the fixed moment of time, and to predict its change on the basis of the received data.

Key words: *mathematical model, natural-technical system, optimum placing, complex estimation*

Alexander Gulkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director. E-mail: alexdvgtu@mail.ru

Anna Nikitina, Senior Teacher at the Department of Project, Construction and Operating of Oil and Gas Pipelines and Storehouses

Oksana Shcheka, Engineer at the Department of Environment Protection