

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПОСОБОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

И. А. Авцинов, И. С. Корыстина

*Кафедра информационных и управляющих систем,  
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», г. Воронеж;  
is\_korystina@mail.ru*

**Ключевые слова и фразы:** диагностика; критерии; оптимальный вариант; решение задачи; системная модель; состояние; способы воздействия; структура; условия выбора; экосистема.

**Аннотация:** Дано описание основных критериев выбора структуры и сформулированы условия выбора способов воздействия на экосистемы. Показан оригинальный принцип соответствия между искомыми способами воздействия на экосистему и ее текущим состоянием. Представлены наиболее опасные с медико-экологической точки зрения факторы воздействия. Разработана системная модель, характеризующая виды компонентов диагностик и способов воздействия на экосистему. Определено множество всех комбинированных способов воздействия на состояние экосистемы. Осуществлен выбор оптимального варианта наилучшего сочетания различных способов воздействия на основе метода идеальной точки. Получен ряд решений в виде множества возможных и допустимых альтернатив, что позволяет проводить поэтапное сужение области поиска и значительно ускорить процесс выбора искомого решения.

---

Синтез информационных технологий (ИТ) воздействий на состояние экосистемы (ЭС) средствами экспертных систем требует разработки комплекса блоков принятия решений преобразования параметров синтезированных диагностик состояния экосистемы в структуру создаваемого технологического метода воздействия на состояние экосистемы [1]. К основным критериям выбора структуры воздействия на экосистемы можно отнести заданные показатели качества воздуха, воды, почвы и физических факторов воздействия с учетом установленных нормативов социально-бытового компонента и компонента комфортности среды обитания экосистемы, медико-санитарного компонента экосистемы в условиях реальных значений природно-климатических и географических компонентов экосистемы и эффектов взаимодействия компонентов экосистемы [2].

Набор отношений на множестве всевозможных комбинаций диагностик экосистемы и соответственно технологических методов воздействий на экосистему позволяет сформулировать основное условие выбора способов воздействия на эко-

систему: любой способ воздействия на экосистему должен быть эквивалентен текущему в данном процессе состоянию экосистемы, то есть

$$\Omega_w = \{\forall r_w \in R_w \mid (r_w \sim r_{ЭС})\},$$

где  $\Omega_w$  – множество всех способов воздействия, удовлетворяющих текущему состоянию экосистемы.

Однако на сегодняшний день в литературе практически отсутствуют рекомендации по выбору того или иного технологического способа воздействия (и очень ограниченно – по выбору медико-санитарного) в зависимости от свойств и состояния экосистемы. В связи с этим для установления соответствия между искомыми способами воздействия и текущим состоянием экосистемы следует полагать, что экосистема может находиться в одном из состояний, оцененных по двум комплексным диагностикам ЭС<sub>эж</sub> и ЭС<sub>мед</sub> [3].

Такой подход, с учетом опыта применения различных воздействий на экосистему в промышленных условиях, дает возможность установить соответствие между исходным состоянием экосистемы и способом воздействия, обеспечивающим качество воздуха, воды, почвы, низкие значения физических факторов воздействия и т.п., которое выражается формулой

$$\begin{aligned} E_{исхЭС}(r_{ЭС}) \wedge \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}} \rightarrow [E_{в}(r_w) \wedge \theta_{в}^{r_w}] \wedge [E_{вод}(r_w) \wedge \theta_{вод}^{r_w}] \wedge \\ \wedge [E_{п}(r_w) \wedge \theta_{п}^{r_w}] \wedge [E_{фф}(r_w) \wedge \theta_{фф}^{r_w}] \wedge [E_{сбк}(r_w) \wedge \theta_{сбк}^{r_w}] \wedge \\ \wedge [E_{пкг}(r_w) \wedge \theta_{пкг}^{r_w}] \wedge [E_{мс}(r_w) \wedge \theta_{мс}^{r_w}] \wedge [E_{эв}(r_w) \wedge \theta_{эв}^{r_w}], \end{aligned}$$

где  $E_{исхЭС}$  – свойство текущего состояния ЭС;  $\theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}$  – значение свойства текущего состояния ЭС.

На сегодняшний момент наибольшую опасность с медико-экологической точки зрения представляют загрязнения воздуха, воды, почвы и физические факторы воздействия. С технологической точки зрения эти компоненты диагностики экосистемы хорошо подходят для оказания воздействия на общее экологическое состояние экосистемы.

Системная модель достижения поставленной цели работы позволяет расширить перечень компонентов диагностик и способов воздействий на экосистему, и может быть представлена в табличном виде. Тогда при  $T_{qi} = \theta_{\delta}^{ri}$  и значении символа отношения  $h$ , равного «~», с учетом всех рассматриваемых компонентов диагностики, можно записать

$$\begin{aligned} \forall r_{ЭС} \exists r_w [(\theta_{в}^{r_w} \sim \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}) \wedge (\theta_{вод}^{r_w} \sim \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}) \wedge (\theta_{п}^{r_w} \sim \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}) \wedge \\ \wedge (\theta_{фф}^{r_w} \sim \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}) \wedge (\theta_{сбк}^{r_w} \sim \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}) \wedge (\theta_{пкг}^{r_w} \sim \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}) \wedge \\ \wedge (\theta_{мс}^{r_w} \sim \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}) \wedge (\theta_{эв}^{r_w} \sim \theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}})] \rightarrow (r_w \sim r_{ЭС}), \end{aligned}$$

то есть для всякой экосистемы  $r_{ЭС}$  существует такой способ воздействия  $r_w$ , что если соответствующие ему значения свойства воздуха  $\theta_{в}^{r_w}$ , воды  $\theta_{вод}^{r_w}$ , почвы  $\theta_{п}^{r_w}$ , физических факторов  $\theta_{фф}^{r_w}$ , социально-бытовых условий и комфортности среды обитания  $\theta_{сбк}^{r_w}$ , природно-климатических и географических условий  $\theta_{пкг}^{r_w}$ , медико-санитарного состояния  $\theta_{мс}^{r_w}$ , эффектов взаимодействия  $\theta_{эв}^{r_w}$  эквивалентны значению исходной диагностики ЭС  $\theta_{исхЭС}^{r_{ЭС}}$ , то такой способ воздействия  $r_w$  эквивалентен данной экосистеме.

Отсюда можно записать условие выбора способа воздействия на экосистему в зависимости от синтезированных диагностик экосистемы

$$\Omega_{r_w}^{\text{ЭС}} = \{ \forall r_w \in R_w \mid (\theta_B^{r_w} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{вод}}^{r_w} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{п}}^{r_w} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge$$

$$\wedge (\theta_{\text{фф}}^{r_w} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{сбк}}^{r_w} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{пкг}}^{r_w} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge$$

$$\wedge (\theta_{\text{мс}}^{r_w} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{эв}}^{r_w} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{в}}^{r_w \text{ТП}} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge$$

$$\wedge (\theta_{\text{вод}}^{r_w \text{ТП}} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{п}}^{r_w \text{ТП}} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{фф}}^{r_w \text{ТП}} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge$$

$$\wedge (\theta_{\text{сбк}}^{r_w \text{ТП}} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{пкг}}^{r_w \text{ТП}} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{мс}}^{r_w \text{ТП}} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge$$

$$\wedge (\theta_{\text{эв}}^{r_w \text{ТП}} \sim \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w \text{ЭС}}) \wedge (\theta_{\text{в}}^{r_w} \sim \theta_{\text{в}}^{r_w \text{ТП}}) \wedge (\theta_{\text{вод}}^{r_w} \sim \theta_{\text{вод}}^{r_w \text{ТП}}) \wedge$$

$$\wedge (\theta_{\text{п}}^{r_w} \sim \theta_{\text{п}}^{r_w \text{ТП}}) \wedge (\theta_{\text{фф}}^{r_w} \sim \theta_{\text{фф}}^{r_w \text{ТП}}) \wedge (\theta_{\text{сбк}}^{r_w} \sim \theta_{\text{сбк}}^{r_w \text{ТП}}) \wedge$$

$$\wedge (\theta_{\text{пкг}}^{r_w} \sim \theta_{\text{пкг}}^{r_w \text{ТП}}) \wedge (\theta_{\text{мс}}^{r_w} \sim \theta_{\text{мс}}^{r_w \text{ТП}}) \wedge (\theta_{\text{эв}}^{r_w} \sim \theta_{\text{эв}}^{r_w \text{ТП}}) \}, \quad (1)$$

где  $\Omega_{r_w}^{\text{ЭС}}$  – множество всех способов воздействия, эквивалентных состоянию экосистемы.

Формулу (1) следует обобщить на случай использования в одном процессе воздействия сразу нескольких диагностик экосистемы:

$$\Omega_{r_w}^{\text{ЭС1, ..., n}} = \bigcap_{i=1}^n \Omega_{r_w}^{\text{ЭС}i}, \quad (2)$$

где  $n$  – число одновременно используемых диагностик.

Формула (2) имеет место, например, при совмещении в одном процессе воздействия решение вопроса качества воздуха, влияющего на поверхностные воды. При  $n = 1$  формула (2) имеет вид (1).

Анализ эксплуатационных свойств различных способов воздействия  $r_w$  на экосистему показывает, что каждому способу воздействия соответствует вполне определенная комбинация значений этих свойств, которая на практике в ряде случаев не соответствует комбинации требований к качественным показателям экосистемы и основным признакам построения методов воздействия.

Для удовлетворения всех требований к качеству экосистем в одном процессе воздействия целесообразно совместить такие способы воздействия  $r_w$ , каждый из которых обеспечивает достижение, по крайней мере, одного показателя качества экосистемы. Такой подход реализует принципы параллельной (последовательной-параллельной) концентрации и суперпозиции способов воздействия на экосистему.

Тогда с учетом принципа суперпозиции можно записать ряд условий выбора необходимых способов воздействия  $r_w$ , удовлетворяющих диагностике экосистемы, то есть  $\forall r_w \in \Omega_{r_w}^{\text{ЭС1, ..., n}}$  в следующем виде:

$$\Omega_w^{\text{В}} = \{ \forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1, ..., n}} \mid \theta_{\text{в}}^{r_w} \sim \theta_{\text{в}}^{r_{\text{исхЭС}}} \}, \quad (3)$$

$$\Omega_w^{\text{вод}} = \{ \forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1, ..., n}} \mid \theta_{\text{вод}}^{r_w} \sim \theta_{\text{вод}}^{r_{\text{исхЭС}}} \}, \quad (4)$$

$$\Omega_w^{\text{п}} = \{ \forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1, ..., n}} \mid \theta_{\text{п}}^{r_w} \sim \theta_{\text{п}}^{r_{\text{исхЭС}}} \}, \quad (5)$$

$$\Omega_w^{\text{фф}} = \{ \forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1, ..., n}} \mid \theta_{\text{фф}}^{r_w} \sim \theta_{\text{фф}}^{r_{\text{исхЭС}}} \}, \quad (6)$$

$$\Omega_w^{\text{сбк}} = \{ \forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1, ..., n}} \mid \theta_{\text{сбк}}^{r_w} \sim \theta_{\text{сбк}}^{r_{\text{исхЭС}}} \}, \quad (7)$$

$$\Omega_w^{\text{пкг}} = \{ \forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1, ..., n}} \mid \theta_{\text{пкг}}^{r_w} \sim \theta_{\text{пкг}}^{r_{\text{исхЭС}}} \}, \quad (8)$$

$$\Omega_w^{\text{мс}} = \{ \forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1, ..., n}} \mid \theta_{\text{мс}}^{r_w} \sim \theta_{\text{мс}}^{r_{\text{исхЭС}}} \}, \quad (9)$$

$$\Omega_w^{\text{эв}} = \{ \forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1, ..., n}} \mid \theta_{\text{эв}}^{r_w} \sim \theta_{\text{эв}}^{r_{\text{исхЭС}}} \}. \quad (10)$$

Формулы (3) – (10) отображают множества всех способов воздействия  $r_w$ , обеспечивающих:

- $r_w \in \Omega_w^{\text{В}}$  – достижение заданного качества воздуха  $\theta_{\text{в}}^{r_{\text{исхЭС}}}$ ;
- $r_w \in \Omega_w^{\text{вод}}$  – достижение заданного качества воды  $\theta_{\text{вод}}^{r_{\text{исхЭС}}}$ ;

$r_w \in \Omega_w^{\text{п}}$  – достижение заданного качества почвы  $\theta_{\text{п}}^{r_{\text{исхЭС}}}$ ;  
 $r_w \in \Omega_w^{\text{фф}}$  – достижение заданного уровня физических факторов  $\theta_{\text{фф}}^{r_{\text{исхЭС}}}$ ;  
 $r_w \in \Omega_w^{\text{сбк}}$  – достижение заданного социально-бытового уровня и комфортности  $\theta_{\text{сбк}}^{r_{\text{исхЭС}}}$ ;  
 $r_w \in \Omega_w^{\text{пкг}}$  – необходимую эквивалентность природно-климатически и географических показателей  $\theta_{\text{пкг}}^{r_{\text{исхЭС}}}$ ;  
 $r_w \in \Omega_w^{\text{мс}}$  – достижение заданного уровня экологозависимых медико-санитарных показателей  $\theta_{\text{мс}}^{r_{\text{исхЭС}}}$ ;  
 $r_w \in \Omega_w^{\text{эв}}$  – заданный уровень эффектов взаимодействия  $\theta_{\text{эв}}^{r_{\text{исхЭС}}}$ .

Практика показывает, что в общем случае в составе комбинированного воздействия на экосистему следует предусмотреть некоторый дополнительный способ воздействия, повышающий технологическую эффективность воздействия на экосистему. Тогда множество всех способов воздействия  $r_w$ , повышающих эффективность воздействия на экосистему  $\Omega_w^{\text{ЭС}}$ , можно отобразить формулой

$$\Omega_w^{\text{ЭС}} = \{\forall r_w \in \Omega_w^{\text{ЭС1}, \dots, n} \mid \theta_{\text{исхЭС}}^{r_w} = \text{«Текущее состояние»} \wedge (\theta_{\text{измЭС}}^{r_w} \sim T_{\text{изм}}^{\text{исхЭС}})\}, \quad (11)$$

где  $T_{\text{изм}}^{\text{исхЭС}}$  – требуемые изменения исходного состояния экосистемы.

Для реализации принципа параллельной (последовательно-параллельной) концентрации способов воздействия на состояние экосистемы, который предусматривает формирование одновременно или последовательно наибольшего числа параметров экологического качества экосистемы, совокупности совмещаемых воздействий следует искать в виде элементов декартова произведения:

$$\Omega_w^{\text{к}} = \Omega_w^{\text{в}} \times \Omega_w^{\text{вод}} \times \Omega_w^{\text{п}} \times \Omega_w^{\text{фф}} \times \Omega_w^{\text{сбк}} \times \Omega_w^{\text{пкг}} \times \Omega_w^{\text{мс}} \times \Omega_w^{\text{эв}} \times \Omega_w^{\text{ЭС}}, \quad (12)$$

которые представляют собой кортежи вида

$$r_w^{\text{к}} = (r_{w1}, r_{w2}, r_{w3}, r_{w4}, r_{w5}, r_{w6}, r_{w7}, r_{w8}, r_w^{\text{ЭС}}), \quad (13)$$

где  $r_w^{\text{к}} \in \Omega_w^{\text{к}}$  – комбинированный способ воздействия,

$$\begin{aligned}
 r_{w1} \in \Omega_w^{\text{в}}, & \quad r_{w2} \in \Omega_w^{\text{вод}}, & \quad r_w \in \Omega_w^{\text{п}}, \\
 r_{w1} \in \Omega_w^{\text{фф}}, & \quad r_{w2} \in \Omega_w^{\text{сбк}}, & \quad r_w \in \Omega_w^{\text{пкг}}, \\
 r_{w1} \in \Omega_w^{\text{мс}}, & \quad r_{w2} \in \Omega_w^{\text{эв}}, & \quad r_w^{\text{ЭС}} \in \Omega_w^{\text{ЭС}}.
 \end{aligned}$$

В общем случае при необходимости достижения  $n$  параметров экологического качества экосистемы формула (12) имеет вид

$$\Omega_w^{\text{к}} = \Omega_{w1} \times \Omega_{w2} \times \dots \times \Omega_{wi} \times \dots \times \Omega_{wn} \times \Omega_w^{\text{ЭС}},$$

тогда  $r_w^{\text{к}} = (r_{w1}, r_{w2}, \dots, r_{wi}, \dots, r_{wn}, r_w^{\text{ЭС}})$  и  $r_{wi} \in \Omega_{wi}$ .

В рассматриваемом случае кортеж (13) отображает совмещение в одном процессе воздействия не более девяти воздействий на состояние экосистемы. При этом следует предположить возможность совпадения отдельных или всех элементов кортежа (13). Это означает, что одно и то же воздействие  $r_{wi}$  обеспечивает достижение сразу нескольких заданных параметров экологического качества экосистемы. Тогда каждое совпадение элементов кортежа (13) уменьшает на единицу число совмещаемых воздействий.

Современные технологии, как правило, допускают сочетание в одном процессе любых способов воздействия. Однако сочетание конкретных значений параметров экологического качества экосистемы накладывает ограничения на сочетание элементов кортежей. При этом следует полагать, что условия обеспечения

экологического качества экосистемы определяют ряд соотношений, которым должны удовлетворять все элементы кортежа (13):

$$\forall r_w \in r_w^k [(\theta_v^{rw} \geq \theta_v^{рискЭС}) \vee (\theta_v^{rw} = \text{«Изменений нет»})]; \quad (14)$$

$$\forall r_w \in r_w^k [(\theta_{вод}^{rw} \geq \theta_{вод}^{рискЭС}) \vee (\theta_{вод}^{rw} = \text{«Изменений нет»})]; \quad (15)$$

$$\forall r_w \in r_w^k [(\theta_{п}^{rw} \geq \theta_{п}^{рискЭС}) \vee (\theta_{п}^{rw} = \text{«Изменений нет»})]; \quad (16)$$

$$\forall r_w \in r_w^k [(\theta_{фф}^{rw} \geq \theta_{фф}^{рискЭС}) \vee (\theta_{фф}^{rw} = \text{«Изменений нет»})]; \quad (17)$$

$$\forall r_w \in r_w^k [(\theta_{сбк}^{rw} \geq \theta_{сбк}^{рискЭС}) \vee (\theta_{сбк}^{rw} = \text{«Изменений нет»})]; \quad (18)$$

$$\forall r_w \in r_w^k [(\theta_{пкг}^{rw} \geq \theta_{пкг}^{рискЭС}) \vee (\theta_{пкг}^{rw} = \text{«Изменений нет»})]; \quad (19)$$

$$\forall r_w \in r_w^k [(\theta_{мс}^{rw} \geq \theta_{мс}^{рискЭС}) \vee (\theta_{мс}^{rw} = \text{«Изменений нет»})]; \quad (20)$$

$$\forall r_w \in r_w^k [(\theta_{эв}^{rw} \geq \theta_{эв}^{рискЭС}) \vee (\theta_{эв}^{rw} = \text{«Изменений нет»})]. \quad (21)$$

то есть каждое воздействие  $r_w$ , входящее в соответствующий кортеж (13), обеспечивает необходимый параметр экологического качества экосистемы или не изменяет (не ухудшает) его.

При этом формулы (3) – (10) дают основание полагать, что кортеж (13) всегда содержит такие  $r_w$ , которые обеспечивают необходимое экологическое качество экосистемы.

Таким образом, в результате последовательного формирования множеств (2) – (12) и проверки выполнения соотношений (14) – (21) определяется некоторое множество  $\Omega r_w^k$  всех кортежей (13), то есть множество всех комбинированных способов воздействия на состояние экосистемы, удовлетворяющих синтезированной обобщенной диагностике экосистемы, где

$$\Omega r_w^k = \{r_w^k\}. \quad (22)$$

В случае, если множество  $\Omega r_w^k$  комбинированных способов воздействия на экосистему содержит более одного элемента, то целесообразно выполнить оценку каждого из полученных комбинированных способов воздействия на наилучшее сочетание совокупных свойств:

- высокие качественные показатели воздуха, воды, почвы;
- низкие показатели физических факторов воздействия при высоких качественных показателях социально-бытового компонента и компонента комфортности среды обитания экосистемы;
- высокие качественные и количественные показатели медико-санитарного компонента экосистемы с учетом значений природно-климатических и географических компонентов экосистемы;
- эффекты взаимодействия компонентов экосистемы.

Подобная оценка соответствует задаче поиска оптимального варианта наилучшего сочетания в одном процессе различных способов воздействия по критериям  $E_v, E_{вод}, E_{п}, E_{фф}, E_{сбк}, E_{пкг}, E_{мс}, E_{эв}$ . Такую задачу удобно решать на основе метода идеальной точки [1].

Это можно обосновать следующим образом. Отношение Парето для любых двух решений  $r_w'$  и  $r_w''$  на множестве  $\Omega_w$  имеет вид

$$(\forall r_w', r_w'' \in \Omega_w) [r_w' P r_w''] \rightarrow \{(\forall i = \overline{1, n}) [\theta_i^{r_w'} \geq \theta_i^{r_w''}]\},$$

где  $\theta_i^{r_w}$  – значение свойства  $r_w$  по  $i$ -му критерию оптимальности.

Тогда наилучшее по  $n$  критериям решение  $r_w^{оп}$  определяет в  $n$ -мерном критериальном пространстве точку, верхнее сечение отношения Парето в которой будет пусто, а все остальные решения, не удовлетворяющие отношению Парето, будут находиться в нижнем сечении отношения  $P$  в точке  $r_w^{оп}$ .

Такой подход позволяет получить однозначное решение и проводить выбор по сравнительной важности критериев. Однако следует допустить, что в результате применения рассматриваемого отношения  $P$  ко всем парам решений из множества  $\Omega_w$  может быть не получено необходимых решений.

Возможна схема компромисса по минимально допустимым значениям критериев выбора. В этом случае отношение Парето имеет вид

$$(\forall r_w, r_w^{\min} \in \Omega_w) [r_w P r_w^{\min}] \rightarrow \{(\forall i = \overline{1, n}) [\theta_i^{r_w} \geq T_i^{\min}]\},$$

где  $T_i^{\min}$  – минимально допустимое значение  $i$ -го критерия выбора.

Такой подход позволяет получить целый ряд решений в виде множества возможных и допустимых альтернатив. Это дает возможность поэтапного сужения области поиска, что способно значительно ускорить процесс выбора решений с последующим выбором искомого решения из числа возможных и допустимых альтернатив:

$$(\forall r_w \in \Omega_w) [T_u P r_w] \rightarrow \{(\forall i = \overline{1, n}) [T_i^{T_u} \geq \theta_i^{r_w}]\},$$

где  $T_u$  – идеальная точка  $n$ -мерного критериального пространства;  $T_i^{T_u}$  – значение  $i$ -й координаты точки  $T_u$  в  $n$ -мерном критериальном пространстве.

При этом каждый способ воздействия  $r_w$  следует изобразить как точку в  $n$ -мерном критериальном пространстве, каждая ось которого  $E_a$  одноименна одному из установленных критериев оптимальности и соответствующему свойству  $E_a$  способа воздействия  $r_w$ . Тогда координатами рассматриваемой точки по осям  $E_a$  служат значения  $\theta_a^{r_w}$  соответствующего свойства  $E_a$  воздействия  $r_w$ .

Объединить достоинства рассмотрения схем компромисса позволяет метод идеальной точки, для которого отношение Парето имеет вид

$$(\forall r_w', r_w'' \in \Omega_w) [r_w' P r_w''] \rightarrow \{(\forall i = \overline{1, n}) [\theta_i^{r_w'} \geq \theta_i^{r_w''}]\},$$

где  $\theta_i^{r_w}$  – значение свойства  $r_w$  по  $i$ -му критерию оптимальности.

Такой подход дает возможность установить по каждому критерию оптимальности максимально возможные значения  $T_a$  соответствующих свойств  $E_a$  способов воздействия  $r_w$ , которые позволят определить в том же  $n$ -мерном критериальном пространстве так называемую идеальную точку  $T_u$ .

В таком случае удаленность точки, изображающей конкретный способ воздействия  $r_w$ , от идеальной точки  $T_u$  определяется по формуле

$$\rho(r_w, T_u) = \left[ \sum_{i=1}^n (t_{ai} - \theta_{ai}^{r_w})^2 \right],$$

а совокупную удаленность комбинированного способа воздействия  $r_w^k$  можно найти по формуле

$$\rho(r_w^k, T_u) = \sum_{i=1}^p \rho(r_{wi}, T_u),$$

где  $p$  – число совмещаемых воздействий, то есть число элементов кортежа  $r_w^k$ .

Тогда оптимальным по совокупности заданных критериев следует считать такой комбинированный способ воздействия  $r_w^{\text{коп}}$ , который удовлетворяет выражению

$$r_w^{\text{коп}} = \text{Argmin} \rho(r_w^k, T_u). \quad (23)$$

Такой подход позволяет всегда получать однозначное решение задачи при любом количестве критериев и не зависит от интервалов их значений.

При этом задача выбора по  $n$  критериям сводится к выбору по одному критерию – расстоянию  $\rho$  до точки  $T_u$ .

На основании полученных результатов можно заключить, что функция выбора комбинированного способа воздействия  $r_w^k$ , обозначенная через  $S(H_3)$ , реализуется последовательным формированием множеств:  $\Omega_w^{\text{OC}}$  – всех способов воздействия, эквивалентных синтезированной диагностике экосистемы;  $\Omega_w^k$  – всевозможных вариантов комбинированных способов воздействия, содержащихся в  $\Omega_w^{\text{OC}}$  и удовлетворяющих заданному экологическому качеству экосистемы;  $\Omega_{rw}^k$  – искомых вариантов комбинированных способов воздействий, содержащихся в  $\Omega_w^k$ , компоненты которых совместимы между собой по условиям экологического качества экосистемы; с выполнением, при необходимости, оптимизации выбора с помощью функции (23).

#### *Список литературы*

1. Черноморов, Г. А. Теория принятия решений : учебник / Г. А. Черноморов ; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск : Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2002. – 276 с.

2. Корыстина, И. С. Математическое отображение структурных связей диагностики окружающей среды / И. С. Корыстина, И. А. Авцинов // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-25 : XXV Междунар. науч. конф. : сб. тр. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Сарат. гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю. А. [и др.] ; редкол.: А. А. Большаков (общ. ред.) [и др.]. – Саратов, 2012. – Т. 10. – С. 186 – 187.

3. Ключанских, И. С. Формализация определения наиболее общих характеристик метода воздействия на окружающую среду / И. С. Ключанских, И. А. Авцинов // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-25 : XXV Междунар. науч. конф. : сб. тр. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Сарат. гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю. А. [и др.] ; редкол.: А. А. Большаков (общ. ред.) [и др.]. – Саратов, 2012. – Т. 4. – С. 206 – 207.

---

## **Formalization of Definition of Ways of Influencing the Condition of Ecosystem**

**I. A. Avtsinov, I. S. Korystina**

*Department of Information and Managing Systems,  
Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh;  
is\_korystina@mail.ru*

**Key words and phrases:** choice conditions; criteria; diagnostics; ecosystem; optimum option; solution of a task; state; structure; system model; ways of influence.

**Abstract:** In the article the main criteria of selecting the structure of influence on ecosystems are described. The main conditions of choosing the ways of influence on an ecosystem are formulated. The original principle of compliance between the required ways of influence on an ecosystem and its current state is shown. The most dangerous factors damaging health and environment are described. The system model characterizing the types of components of diagnostics and the ways of influencing the ecosystem is developed. The model is based on the following statement: if for any ecosystem there is a way of influence at which the values of property of air, water, soils,

physical factors, as well as social, climatic and geographical conditions, medical and sanitary state, effects of interaction are equivalent to the value of initial diagnostics, then such a way of influence is equivalent to this ecosystem. On the basis of the presented statement the condition of selecting a way of influence on the ecosystem taking into account its diagnostics was written down. Besides, the dependence characterizing the process of influence on the ecosystem of several diagnostics is presented. As a result of the application of the principles of superposition the conditions of selecting the necessary ways of influence, satisfying the ecosystem diagnostics were formulated. The set of all combined ways of influence on the state of the ecosystem of generalized diagnostics satisfying its synthesis is defined. The choice of optimum option of the best combination of various ways of influence is carried out. This task is solved on the basis of a method of an ideal point. Such an approach allowed producing a number of decisions in the form of a set of possible and admissible alternatives that gave the chance of stage-by-stage narrowing of the area of search and considerably accelerated the process of a choice of the required decision. Besides, the applied approach allowed to receive the unambiguous solution of a task at any amount of criteria and doesn't depend on intervals of their values. Thus, it is possible to conclude, the function of a choice of the combined way of influence is realized by consecutive formation of sets of all ways of influence, various options of the combined ways of influence and required options of the combined ways of influence.

#### *References*

1. Chernomorov G.A. Teoriya prinyatiya reshenii (Decision theory), Novocherkassk: Redaktsiya zhurnala «Izvestiya vuzov. Elektromekhanika», 2002, 276 p.
2. Korystina I.S., Avtsinov I.A. Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh. MMTT-25 (Mathematical Methods in Engineering and Technology. MMTT-25), Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Scientific Conference, Saratov, 2012, vol. 10, pp. 186-187.
3. Klyuchanskikh I.S., Avtsinov I.A. Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh. MMTT-25 (Mathematical Methods in Engineering and Technology. MMTT-25), Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Scientific Conference, Saratov, 2012, vol. 4, pp. 206-207.

---

### **Formalisierung der Bestimmung der Weisen der Einwirkung auf den Zustand des Ökosystems**

**Zusammenfassung:** Im Artikel sind die Hauptkriterien der Auswahl der Struktur der Einwirkung auf die Ökosysteme beschrieben. Es sind die Hauptbedingungen der Auswahl der Weisen der Einwirkung auf das Ökosystem abgefasst. Es ist das originelle Prinzip der Übereinstimmung zwischen den gesuchten Weisen der Einwirkung auf das Ökosystem und ihrem laufenden Zustand vorgeführt. Es sind die vom medizinisch-ökologischen Standpunkt gefährlichsten Faktoren der Einwirkung vorgestellt. Es ist das Systemmodell, das die Arten der Komponenten der Diagnostik und der Weisen der Einwirkung auf das Ökosystem charakterisiert, entwickelt. Es ist eine Menge aller kombinierten Weisen der Einwirkung auf den Zustand des Ökosystems bestimmt. Es ist die Auswahl der optimalen Variante der besten Kombination verschiedener Weisen der Einwirkung verwirklicht. Die vorliegende Aufgabe ist aufgrund der Methode des idealen Punktes entschieden. Es ist eine ganze Reihe der Lösungen in Form von einer Menge der möglichen und zulässigen Alternativen zu bekommen, was der stufenweisen Verengung des Gebietes der Suche und wesentlich ermöglicht hat, den Prozess der Auswahl der gesuchten Lösung zu beschleunigen.

## **Formalisation de la définition des moyens d'action sur l'état de l'écosystème**

**Résumé:** Dans l'article sont décrits les critères du choix de la structure de l'action sur l'écosystème. Sont formulées les conditions du choix de l'action. Est montré le principe original de la corrélation entre les moyens d'action sur l'écosystème et son état courant. Sont présentés les facteurs dangereux de l'action sur l'écosystème. Est élaboré le modèle caractérisant les types des composants et des moyens d'action sur l'écosystème. Est décrite la condition du choix de l'action sur l'écosystème compte tenu des diagnostics. Sont décrites les conditions du choix des moyens nécessaires de l'action correspondant au diagnostic de l'écosystème. Est définie la multitude des moyens de l'action sur l'écosystème correspondant à la synthèse des diagnostics. Est effectué le choix de la variante optimale de la corrélation entre les moyens d'action. Est obtenue une série de solutions comme alternatives admissibles ce qui a permis de diminuer le domaine de la recherche et d'accélérer le choix de la solution. L'approche appliquée a permis d'obtenir l'unique solution avec n'importe quelle quantité de critères, cette solution ne dépend pas des intervalles ni de ses valeurs.

---

**Авторы:** *Авцинов Игорь Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры информационных и управляющих систем; *Корыстина Ирина Сергеевна* – аспирант кафедры информационных и управляющих систем, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж.

**Рецензент:** *Краснянский Михаил Николаевич* – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-инновационной деятельности, ФГБОУ ВПО «ГГТУ».

---