

УДК 502.7:627.215.2

**МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПЕРАТИВНОМУ
УПРАВЛЕНИЮ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ**

© Евгений Геннадьевич Трунин

Федеральное автономное учреждение “ Российский Речной Регистр “

Москва, Россия

sekretar@rivreg.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема поддержки принятия решений по оперативному управлению природопользованием в речных портах. Показана возможность применения для решения этой проблемы аппарата теории нечетких множеств.

Ключевые слова: управление, задачи принятия решений, окружающая среда, загрязнение.

**MODELS OF DECISION MAKING ON OPERATIONAL
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

E.G. Trunin

“ Russian River Register “ Moscow, Russia

Abstract. The article considers the problem of support of making decisions on operational environmental management in river ports. The possibility of application to solving this problem of the theory of fuzzy sets is shown.

Key words: management, decision making problems, environment, pollution

При управлении природопользованием возникает ряд сложных задач, которые обусловлены множеством факторов экологического, экономического, технологического и социального характера. Это довольно часто затрудняет получение количественных описаний функционирования сложных производственных объектов, а в ряде случаев и целей при управлении природопользованием в конкретных производственных ситуациях. В таких случаях используют качественную информацию для выработки решений, которая, как правило, имеет нечетко определенный характер. При этом лицо, принимающее решение (ЛПР), решает ряд задач принятия решений (ЗПР), обеспечивая задания и укладываясь в ограничения. В условиях действующего производства оптимизация процесса управления природопользованием в портах заключается в перестройке режимов работы оборудования при сохранении технологии перегрузочного процесса и поддержании допустимого уровня загрязнения ОС.

В процессе решения ЗПР приходится оперировать с параметрами системы, под которыми будем понимать набор более существенных с точки зрения ЛПР характеристик объектов управления (ОУ). Состояние ОУ характеризуют множеством параметров, которые могут изменяться во времени и распределены в пространстве. Целью принятия решений является перевод состояния системы в текущий момент времени в некоторую желаемую область состояний ОУ. При этом должны быть созданы условия, обеспечивающие данный перевод. Для оптимизации процессов управления природопользованием, при которой достигают экстремального значения один или несколько критериев, выполняется целенаправленное изменение состояния ОУ в желаемую область, зависящее от конкретной ситуации, сложившейся на производстве в текущий момент времени

Принятие решений определяется отличием между фактическим состоянием ОУ и желаемой областью, степенью информативности ЛПР о состоянии и целях функционирования системы. При конкретизации проблемы принятия решений определяют средства, ресурсы и параметры, а также время сокращения расстояния до желаемой области, т.е. формулируют ЗПР.

Приведем общую форму записи ЗПР [1,2]:

$$A_1: \langle \text{ЗПР} \rangle = \{ \text{дана } V, \text{ требует обеспечить } W \}, \quad (1)$$

где V – заданные условия; W – желаемая область состояний ОУ.

Определение ЗПР предполагает заданным не только условия V , но и V^s – множество возможных состояний ОУ, а также V_p – множество возможных операторов, которые обеспечивают переход ОУ из одного состояния в другое. При этом решение ЗПР заключается в выборе оператора или последовательности операторов для перевода ОУ из состояния в текущий момент времени в желаемое состояние.

Процессом принятия решений называют совокупность следующих действий ЛПР: а) формулировки проблемы решений и анализа информации о состоянии ОУ; б) постановки задач для оптимизации функционирования системы; в) разработки математической модели и методов решения задач; г) формирования возможных альтернативных решений и выбора окончательного решения; д) реализации решения и последующей корректировки модели.

ЗПР в форме (1), сформулированная в терминах состояний ОУ, имеет довольно общий характер. Дальнейшей конкретизацией является следующая форма:

$$V = \{ Y, \xi, S, U, D_Y, D_\xi, D_U \}, \quad (2)$$

где V – условие для принятия решений;

Y – множество входных параметров, начальных условий, вариантов проектных решений, выделяемые и регулируемые ресурсы;

ξ – множество неуправляемых возмущений, например колебания свойств и состава загрязняющих веществ, технического состояния оборудования;

S – множество исходов или конечных результатов, получаемых после воздействия входных параметров и возмущений на систему;

D_Y – множество операторов $d_Y: Y \rightarrow S$ ($d_Y \in D_Y$), например, в D_Y присутствуют возможные способы организации технологического процесса;

D_ξ – множество операторов $d_\xi: \xi \rightarrow S$ ($d_\xi \in D_\xi$);

U – множество критериев оценки W , элементами которых могут быть конкретные критерии эффективности (КЭ), отражающие выполнение заданий по обеспечению перегрузочного процесса, затраты, природоохранные мероприятия и т.п.;

D_U – множество операторов $d_U: U \rightarrow W$ ($d_U \in D_U$), которые характеризуют взаимосвязь между КЭ и желаемой областью состояний ОУ. Обычно D_U содержит характеристики предпочтения ЛПР о важности частных КЭ или об их упорядочении, взаимозависимости.

Введем обозначения:

$$\langle \text{решение } X \rangle \overset{\Delta}{=} \langle Y, D_Y \rangle, \quad (3)$$

$$\langle \text{среда } \beta \rangle \overset{\Delta}{=} \langle \xi, D_\xi \rangle, \quad (4)$$

$$\langle \text{состояние ОУ} \rangle \overset{\Delta}{=} \langle S \rangle, \quad (5)$$

$$\langle \text{КЭ для ЗПР} \rangle = \langle F \rangle \overset{\Delta}{=} \langle U, D_U \rangle; \quad (6)$$

тогда приходим к другой эквивалентной форме ЗПР;

$A_2: \langle \text{найти решения } X \rangle \langle \text{с учетом модели объекта } X \rightarrow S \rightarrow \beta \rangle \langle \text{чтобы критерии эффективности } F \text{ достигли максимальных (минимальных) значений} \rangle$, или формально запишем:

$$X \stackrel{\Delta}{=} \langle Y, D_Y \rangle = \arg \left\{ \begin{array}{l} \langle U, D_U \rangle = F \rightarrow \max(\min) \\ M = \left\{ \begin{array}{l} D_Y : Y \times Y \rightarrow S \\ D_{\xi} : \xi \times \xi \rightarrow S \end{array} \right\} \end{array} \right\} \quad (7)$$

Отсюда следует, что обязательным для любого процесса принятия решений являются: цель, понимаемая как набор $\langle U, D_U \rangle$; множество альтернатив $\langle Y, D_Y \rangle$; ситуации, которые формализуются в виде модели ОУ с учетом операторов D_Y и D_{ξ} ; правила выбора решения, которые дают возможность выделять наиболее предпочтительные варианты, совокупность методов и алгоритмов решения задачи (7); ЛПР, которое несет ответственность за анализ ситуаций, постановку ЗПР и принятие окончательного решения. ЛПР в конкретном случае из объективных факторов и субъективных соображений формирует КЭ, т.е. D_U .

Классификация ЗПР основана на соотношениях между ситуациями, альтернативами и исходами от принятого решения. Формально эту классификацию представим в виде [3,4]:

$$\langle ZPP \rangle \xrightarrow{K} \left\{ \begin{array}{l} \langle ZPP \rangle_1 \\ \langle ZPP \rangle_2 \\ \langle ZPP \rangle_3 \end{array} \right\}, \quad (8)$$

где K – оператор классификации ЗПР; $\langle \xi, X \rightarrow S \rangle$ – соотношение ситуаций, вызванных внешней средой, альтернатив и исходов; $\langle ZPP \rangle_1$, $\langle ZPP \rangle_2$, $\langle ZPP \rangle_3$, – подклассы ЗПР в условиях определенности, риска и неопределенности соответственно.

Как было отмечено выше, управление природопользованием связано с обработкой нечеткой информации, поэтому в данном случае решается $\langle ZPP \rangle_3$. При этом различные постановки ЗПР и математические методы их решения отличаются в построении оценок неопределенности связей «альтернатива – исход», а также в выборе решающего правила для получения некоторого подмножества целесообразных стратегий. С этой точки зрения отметим некоторые особенности применения методологии нечетких множеств для решений ЗПР.

Во-первых, из-за сложной структуры связей между информационными параметрами, а также неопределенности при формализации связей рассматриваемые альтернативы и прогнозируемые результаты всегда являются нечеткими с точки зрения допустимости и эффективности. Во-вторых, в схемах анализа, основанных на подходе нечетких множеств, так же как и в традиционных методах принятия решений, строится некоторая система гипотез, которая формулируется в терминах субъективной принадлежности параметра или связи к некоторому классу. Функции принадлежности выбирает ЛПР. Далее в результате анализа формируется результат в виде функции принадлежности к некоторому множеству. Отсюда следует, что подход нечетких множеств подобно другим методам позволяет сжать множество возможных альтернатив [5].

Для создания нечетких моделей возможно использование продукционных правил представления знаний и систему логического вывода на их основе [6].

Простота продукционной модели позволяет поддерживать систему в актуальном состоянии. При замене оборудования, изменении технологических схем и процессов нет необходимости полностью изменять базу знаний, а достаточно ее только актуализировать, путем добавления новых продукционных правил в существующую базу знаний и удаления устаревших.

Для форматизированного представления знаний целесообразно формировать группу продукционных правил с использованием лингвистических переменных.

Эта группа правил и моделей представления знаний соответствует формализованному описанию управляющих воздействий, направленных на уменьшение выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) при возникновении аварийной ситуации на i -ой установке в результате отклонения технологических параметров процессов от нормы или превышении выбросов ЗВ на постоянно действующих источниках. Так, для каждого i -го объекта, на котором может возникнуть j -ая аварийная ситуация или превышение выбросов, необходимо определить управляющие воздействия по предотвращению развития данной ситуации и уменьшению загрязнения ОС для каждого l -го лица принимающего решение. В виде продукционной модели данная формулировка будет выглядеть следующим образом:

$$\forall(i, j, l) : M \equiv [\bar{x}_j^i \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i], i \in I; j \in J; l \in L, \quad (9)$$

где \bar{x}_j^i - вектор состояния i -го объекта при возникновении j -ой ситуации (авария или залповый выброс), а \bar{u}_j^i - множество управляющих воздействий объектов на рассматриваемой территории; I – количество рассматриваемых объектов на рассматриваемой территории; J – общее количество возможных аварийных ситуаций или залповых выбросов; L – количество ЛПР.

Традиционно продукционное правило пишется в форме «Если ..., то...», тогда они будут выглядеть следующим образом: Если на i -ом объекте возникла j -ая аварийная ситуация (залповый выброс), то l -му лицу, принимающему решения, необходимо выполнить \bar{u}_j^i - управляющее воздействие.

Для аварийной ситуации управляющие воздействия направлены на снижение последствий аварии и ее развития на всех уровнях, для превышений выбросов постоянно действующих источников управляющие воздействия направлены на снижение уровней выбросов до нормативных.

Лингвистические обозначения для различных ситуаций приобретут следующие обозначения: A – «авария», P – «превышение выбросов постоянно действующего источника», D – «неопределенная ситуация», N – «норма».

Система продукционных правил при возникновении аварийной ситуации приобретает следующий вид:

1. Если станции контроля не фиксируют повышенный концентраций ЗВ, т.е. все в норме, то и управляющее воздействие будет «не изменять»:

$$\forall(i, l) : M \equiv [\bar{x}_i = N \rightarrow \bar{u}_l = N], i \in I; l \in L \quad (10)$$

2. Если станции контроля зафиксировали превышение, но пока нет достоверных данных, что произошло, авария или превышение выбросов:

$$\forall(i) : M \equiv [\bar{x}^i = \neg N \rightarrow \bar{x}^i = D \rightarrow (\bar{x}^i = A) \vee (\bar{x}^i = P)], i \in I \quad (11)$$

Первым делом предлагается реализовать управляющие воздействия для аварии, т.к. последствия аварийной ситуации тяжелее:

$$\bar{x}^i = A \rightarrow \bar{x}^i = \bar{x}_j^i \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i = CHA, i \in I; j \in J; l \in L, \quad (12)$$

где CHA лингвистическая переменная управляющего воздействия для аварийной ситуации, обозначающая «изменить».

3. Если возникла аварийная ситуация, то необходимо применять управляющие воздействия. В зависимости от того, какое именно лицо принимает решение и на каком уровне управления портом, управляющие воздействия будут различны.

Так, для формализованного представления в базе знаний (БЗ) технологических параметров производственных процессов введем следующие лингвистические обозначения: N – «норма», LN – «ниже нормы», VN – «выше нормы», VND – «выше нормы, допустимо», LND – «ниже нормы, допустимо», LNA – «ниже нормы, недопустимо», VNA – «выше нормы,

недопустимо», а управляющие воздействия: PU – «увеличить», PD – «уменьшить», SW – «переключить», CL – «перекрыть», R – «регулировать» в заданном диапазоне, MPU – «сильно увеличить», LPU – «немного увеличить», LPD – «немного уменьшить», MPD – «сильно уменьшить», N – «поддерживать в заданном диапазоне (не изменять)», CHA – «изменить» при возникновении аварийной ситуации.

Тогда отклонение c -го технологического параметра от нормы можно записать:

$$\forall(i, c) : x_c^i = \neg N, i \in I; c \in C, \quad (13)$$

где C – множество параметров состояния i -го объекта. Данное отклонение может привести или не привести к возникновению j -ой аварийной ситуации. Возникновение j -ой аварийной ситуации означает, что произошло отклонение одного или нескольких или всех технологических параметров процессов. Если хотя бы один из технологических параметров отклонился от нормы, то продукционные модели запишем в виде:

$$\forall(i, j) : M \equiv [x_j^i = A \rightarrow x_c^i = \neg N], i \in I, j \in J, c \in C \quad (14)$$

$$\forall(i, j, l) : M_c \equiv [x_c^i = \neg N \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i = CHA], i \in I; j \in J; l \in L, c \in C \quad (15)$$

Если несколько или все технологические параметры отклонились от нормы, то:

$$\forall(i, j, l) : M_{c'} \equiv [c' | x_c^i = \neg N \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i = CHA], i \in I; j \in J; l \in L, c' \in C \quad (16)$$

Выражения (9) – (16) – это правила для создания БЗ.

Значение контролируемого или регулируемого технологического параметра x_c^i , - «отклонение от нормы» - может принимать одно из следующих значений: «выше нормы» или «ниже нормы», которые, в свою очередь могут быть «выше нормы, допустимо», «ниже нормы, допустимо», «ниже нормы, недопустимо», «выше нормы, недопустимо», что в формализованной системе описания запишем так:

$$M_1 \equiv [x_c^i = \neg N \rightarrow x_c^i = VN \vee LN], i \in I; c \in C \quad (17)$$

$$M_2 \equiv [x_c^i = \neg N \rightarrow x_c^i = VND \vee VNA], i \in I; c \in C \quad (18)$$

$$M_3 \equiv [x_c^i = \neg N \rightarrow x_c^i = LND \vee LNA], i \in I; c \in C \quad (19)$$

$$M_4 \equiv [x_c^i = \neg N \rightarrow x_c^i = VND \vee LND \vee LNA \vee VNA], i \in I; c \in C \quad (20)$$

Правила $M_1 - M_3$ эквиваленты правилу M_4 .

Значения вектора управляющих воздействий «изменить» могут принимать одно из значений: «увеличить», «уменьшить», «сильно увеличить», «немного увеличить», «сильно уменьшить», «немного уменьшить». В формализованной системе описания запишем эти продукционные модели для управляющего воздействия $\bar{u}_{j,l}^i$:

$$M_5 \equiv [\bar{u}_{j,l}^i = CHA \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i = PU \vee PD], i \in I; j \in J, l \in L \quad (21)$$

$$M_6 \equiv [\bar{u}_{j,l}^i = PD \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i = LPD \vee MPD], i \in I; j \in J, l \in L \quad (22)$$

$$M_5 \equiv [\bar{u}_{j,l}^i = PU \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i = LPU \vee MPU], i \in I; j \in J, l \in L \quad (23)$$

Запишем некоторые примеры формализованного описания переменных в системе поддержки принятия решений по управлению качеством ОС с использованием предложенных продукционных моделей.

Например, запишем в виде продукционной модели такое правило:

Если произошла разгерметизация трубопровода, то \bar{x}_j^i - вектор состояния параметров трубопровода (i) в результате разгерметизации (j). Для предотвращения попадания загрязняющих веществ в атмосферу необходимо перекрыть данный трубопровод ($\bar{u}_{j,l}^i$), т.е. для параметра, регулирующего расход сырья (x_c^i), необходимо добиться нулевого значения,

т.е. выполнить действия по аварийному отключению разгерметизированного участка трубопровода:

$$M_1 \equiv [\bar{x}_j^i = A \rightarrow x_c^i = \neg N] \quad i \in I; j \in J; c \in C; x_c^i \in \bar{x}_j^i \quad (24)$$

$$M_2 \equiv [x_c^i = \neg N \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i = CHA] \quad i \in I; j \in J; l \in L; c \in C \quad (25)$$

$$M_3 \equiv [\bar{u}_{j,l}^i = CHA \rightarrow \bar{u}_{j,l}^i = MPD \vee CL] \quad i \in I; j \in J, l \in L \quad (26)$$

На основании моделей такого вида формируются более сложные модели логического вывода в экспертных системах, где количество управляющих воздействий, которые необходимо изменить с целью приведения отклонений значений c -ых технологических параметров, может быть множество, а остальные значения управляющих воздействий следует не изменять, а поддерживать в заданных регламентом пределах.

Таким образом, предлагаемый подход к созданию моделей принятия решений на основе аппарата нечетких множеств позволяет создавать экспертные системы для управления природопользованием, в том числе в речных портах.

Список литературы

1. Вилкас Э.Й., Майлминас Б.З. Решения: Теория, информация, моделирование. – М.: Радио и связь, 1981. – 328 с.
2. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383с.
3. Кини Р.Л., Райора Х. Принятие решений при многих критериях. М.: Радио и связь, 1984. – 560 с.
4. Модели и методы анализа экономических целенаправленных систем / Под ред. К.А. Багриновского. – Новосибирск: Наука, 1977. – 237 с.
5. Моисеев Н.Н. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
6. Наумов В.С. Управление окружающей средой на промышленных предприятиях водного транспорта: Монография – Н.Новгород: Изд-во ВГАВТ, 2002. – 220 с.