УДК 005+65.011.56

Формализация задачи принятия решения об оптимизации работы по обслуживанию клиентов в условиях неопределённости

Милая А.С., Савкова Е.О.
Донецкий национальный технический университет
E-mail: milaya.don@gmail.com

Аннотация

Милая А.С., Савкова Е.О. Формализация задачи принятия решения об оптимизации работы по обслуживанию клиентов в условиях неопределённости. *В статье рассматривается формализация задачи принятия решения об оптимизации работы по обслуживанию клиентов в условиях неопределённости на примере организации «Корпорация ПАРУС», предоставляющей консультационные услуги в сфере информации организациям Донецкой и Луганской областей. Для решения формализованной задачи к ней применяются различные критерии выбора оптимальной альтернативы и исследуются результаты, полученные с помощью этих критериев.*

Общая постановка проблемы. В настоящее время руководителю необходимо владеть современными технологиями принятия управленческих решений, поэтому возникла необходимость формализации реальных задач принятия решения. Современная наука в этой области поднялась на качественно новый уровень, на ее основе разработаны эффективные управленческие технологии, компьютерные системы поддержки принятия решений, экспертные системы, автоматизированные системы экспертного оценивания, предназначенные осуществлять в рамках подготовки к принятию решений значительные объемы экономических, математических, логических и других видов расчетов, и позволяющие решать сложные управленческие задачи, характерные для современных организаций.

Целью данной статьи является формализация реально существующей задачи принятия решения в условиях неопределённости. То есть, приведение её к такому виду, чтобы для поиска оптимального решения можно было применить уже существующие научные методы или комбинации этих методов.

Задачи:

- Дать определение основным понятиям;
- Описать процесс формализации задачи;
- Формализовать задачу принятия решения в условиях неопределённости;
- Описать методы, которые можно применить для решения данной задачи.

Актуальность статьи обусловлена ростом потребности руководителей как можно более эффективно распределить объём работ на определённый период времени существования организации.

Постановка задачи. Для формализации каждой конкретной оптимизационной задачи при анализе системы управления в условиях неопределённости необходимо реализовать следующие процедуры. [1]

Определить множество $\{\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_n\}$ всех возможных внешних ситуаций (не зависящих от ЛПР), которые влияют на экономический результат соответствующих решений в рамках анализируемого проекта (задачи). Указанный набор ситуаций $\{\theta_j, j=\overline{1,n}\}$ должен представлять собой полную группу событий. Что означает обязательное выполнение следующих двух условий:

1.1. $\forall\ (k, l)\quad \theta_k \cap \theta_l = \varnothing$

(т. е. одновременное наступление двух событий такой полной группы невозможно)

1.2. $\bigcup_{j=1}^{n} \theta_j = \Omega$

(т. е. одно из событий полной группы наступит обязательно)

Здесь Ω обозначает пространство всех элементарных исходов. Вероятности $q_j = P\{\theta_j\}$ для случайных событий соответствующей полной группе неизвестны. Вопрос о том, рассматривать или нет в формате соответствующей модели конкретное случайное событие, решает непосредственно ЛПР.

2. Составить перечень $\{X_1, X_2, \ldots, X_m\}$ всех альтернативных решений, которые требуется анализировать, и для которых экономический результат будет зависеть от реализованной «внешней» ситуации, т. е. будет зависеть от того, какое из событий полной группы $\{\theta_j, j=\overline{1,n}\}$ (выделенной на предыдущем шаге) наступит.

3. Определить ожидаемые доходы a_{ij} для случаев, когда будет принято решение X_i (из множества указанных выше анализируемых альтернатив), а внешняя, не зависящая от ЛПР ситуация сложится такая, которая соответствует событию θ_j (из множества событий полной группы, влияющей на экономический результат). Они оформляются в виде матрицы $A = (a_{ij})$, которую в теории называют матрицей полезностей. Структура матрицы полезностей следующая:

$$A = \begin{array}{c} \\ X_1 \\ X_2 \\ \ldots \\ X_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} \theta_1 & \theta_2 & \theta_3 & \ldots & \theta_n \end{array} \\ \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \ldots & a_{mn} \end{pmatrix} \end{array}$$

(как видно, элемент a_{ij} стоит на пересечении i-той строки, которая соотносится с решением X_i, и j-того столбца, который соотносится с внешней ситуацией θ_j).

4. Далее для представленной таким образом задачи требуется из рассматриваемого множества альтернативных решений $\{X_i,\ i = \overline{1,m}\}$ выбрать одну альтернативу (наилучшую для ЛПР). Далее в статье будут рассмотрены критерии, которые можно использовать для реализации наилучшего выбора при оптимизации систем управления.

Формализация задачи. Итак, задача принятия решения об оптимизации работы по обслуживанию клиентов в условиях неопределённости состоит в следующем: ООО «Корпорация ПАРУС» предоставляет консультационные услуги в сфере информации организациям Донецкой и Луганской областей. Руководителю необходимо принять решение о распределении работ по обслуживанию шести организаций:

1. управление физкультуры и спорта (государственная организация);
2. министерство здравоохранения (государственная организация);
3. министерство образования (государственная организация);
4. Енакиевский коксохимический завод;
5. Ясиновский коксохимический завод;
6. Донецкий металлургический завод (ДМЗ).

Желаемое время обслуживания государственных организаций – 30 часов, коксохимических заводов – 20 часов, а ДМЗ – 70 часов в месяц. Корпорация может выделить на обслуживание этих предприятий не более 140 часов в месяц. При этом обязательное время, которое корпорация должна выделить для обслуживания ДМЗ – 30 часов, а всех остальных организаций – 10 часов, т. е. за месяц каждую организацию необходимо обслужить не менее заданного времени.

Оплата за час обслуживания составляет: для государственных организаций – 400 рублей, для Енакиевского коксохимического завода – 480 рублей, для Ясиновского – 320 рублей и для ДМЗ – 350 рублей. Вначале месяца каждой организацией вносится предоплата в размере 25% от стоимости работы, которую планируется выполнить. Работа, за которую внесена предоплата, будет выполнена в любом случае, вне зависимости от неопределенных ситуаций.

Руководителю необходимо распределить время обслуживания таким образом, чтобы получить максимальный доход.

Факторами, влияющими на конечный результат, являются:

1. факт выполнения работы (выполнена/не выполнена);
2. причины того, что работа не выполнена: либо по вине исполнителя, либо по вине заказчика, либо из-за форс-мажорных обстоятельств (пожар, наводнение, землетрясение);
3. факт оплаты выполненной работы (оплачена/не оплачена).

Лицом, принимающим решение, в данной задаче является руководитель. Вышеуказанные факторы считаются неопределенными ситуациями, так как ЛПР не может на них повлиять или с определенной точность предсказать, какая из ситуаций произойдёт.

Выполним формализацию задачи согласно ранее описанным этапам формализации:

1. Определяем множество θ всех возможных внешних ситуаций, не зависящих от ЛПР.

Так как причины невыполнения работ могут возникнуть только в случае, если работа не будет выполнена, а выполненная работа может быть либо оплачена, либо не оплачена, имеем пять неопределенных ситуаций:

θ_1 – работа не выполнена по вине исполнителя (в этом случае объем услуг увеличивается на 25%, а заказчик оплачивает 22% всей работы);

θ_2 – работа не выполнена по вине заказчика, клиента (в этом случае заказчик платит штраф в размере 22% от стоимости невыполненной работы);

θ_3 – работа не выполнена из-за форс-мажорных обстоятельств (в этом случае работа не оплачивается заказчиком);

θ_4 – работа выполнена и оплачена;

θ_5 – работа выполнена и не оплачена (заказчик платит штраф в размере 20% от стоимости всей работы, а оплата всей работы переносится на следующий месяц).

Таким образом, имеем набор ситуаций, образующих полную группу событий, $\{\theta_j,\ j=\overline{1,5}\}$.

2. Составляем перечень всех альтернативных решений, которые требуется анализировать, при этом суммарное время обслуживания всех организаций по каждой альтернативе не должно превышать 140 часов.

X_1 – обслуживать все организации минимально требуемое время: государственные организации и коксохимические заводы – по 10 часов, а ДМЗ – 30 часов

$$(10+10+10+10+10+30=80\leq 140);$$

X_2 – обслуживать все организации половину желаемого времени: государственные организации – по 15 часов, коксохимические заводы – по 10 часов, а ДМЗ – 45 часов

$$(15+15+15+10+10+45=110\leq 140);$$

X_3 – обслуживать государственные организации желаемое время, а остальные – минимально требуемое время: государственные организации – по 30 часов, коксохимические заводы – по 10 часов, а ДМЗ – 30 часов

$$(30+30+30+10+10+30=140\leq 140);$$

X_4 – обслуживать государственные организации минимально требуемое время, а остальные – желаемое время: государственные организации – по 10 часов, коксохимические заводы – по 20 часов, а ДМЗ – 70 часов

$$(10+10+10+20+20+70=140\leq 140);$$

Таким образом имеем множество альтернативных решений $\{X_i,\ i=\overline{1,4}\}$, для которых экономический результат будет зависеть от реализованной «внешней» ситуации, т. е. от того, какое из событий определенной на предыдущем этапе полной группы наступит.

3. Определим ожидаемые доходы $\{a_{ij},\ i=\overline{1,4},\ j=\overline{1,5}\}$, учитывая все вышеопределенные факторы.

Для начала построим матрицу полезностей для текущей задачи:

$$A=\begin{array}{c} \\ X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc}\theta_1 & \theta_2 & \theta_3 & \theta_4 & \theta_5\end{array} \\ \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \end{pmatrix}\end{array}$$

Далее рассчитаем каждый элемент матрицы a_{ij}, учитывая все ранее определенные факторы.

Заполняем первую строку матрицы полезностей. Для этого посчитаем обязательную предоплату в размере 25% за запланированную работу для первой альтернативы:

((10*400)*3+10*480+10*320+30*350)*0.25=5 875 рублей.

Далее к этой сумме будем прибавлять или отнимать от нее результаты, связанные с неопределенными ситуациями.

Рассчитываем элементы строки.

- a_{11} – пересечение альтернативы X_1 (все организации обслуживаются минимально требуемое время) и ситуации θ_1, то есть, при этом работа не выполнена и её объём увеличивается на 25%. То есть, рассчитываемая сумма – это 22% от стоимости 125% работы плюс предоплата. Таким образом имеем:

a_{11}=5 875+((10+10*0.25)*400*3+(10+10*0.25)*480+(10+10*0.25)*320+(30+30*0.25)*
*350)*0.22=5 875+8 387.5=14 262.5 (рублей).

- a_{12} – пересечение альтернативы X_1 и ситуации θ_2, то есть, при этом работа не выполнена и заказчик платит штраф в размере 22% от стоимости невыполненной работы. То есть, так как работа, за которую внесена предоплата, будет выполнена в любом случае, рассчитываемая сумма – это 22% от стоимости 75% работы плюс предоплата. Таким образом имеем:

a_{12}=5 875+((10-10*0.25)*400*3+(10-10*0.25)*480+(10-10*0.25)*320+(30-30*0.25)*
*350)*0.22=5 875+5 032.5=10 907.5 (рублей).

- a_{13} – пересечение альтернативы X_1 и ситуации θ_3, то есть, при этом работа не выполнена, а окончательная сумма равна предоплате:

a_{13}=5 875 (рублей).

- a_{14} – пересечение альтернативы X_1 и ситуации θ_4, то есть, при этом работа выполнена и оплачена, и рассчитываемая сумма – это стоимость 100% работы. Таким образом имеем:

a_{14}=10*400*3+10*480+10*320+30*350=23 500 рублей.

- a_{15} – пересечение альтернативы X_1 и ситуации θ_5, то есть, работа выполнена, но не оплачена, и заказчик платит штраф в размере 20% от стоимости всей работы. То есть, рассчитываемая сумма – это 20% от стоимости 100% работы, плюс предоплата. Таким образом имеем:

a_{15}=5 875+(10*400*3+10*480+10*320+30*350)*0.2=5 875+6 100=11 975 (рублей).

Аналогично рассчитываем элементы остальных строк матрицы. В итоге получаем окончательную матрицу полезностей:

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{ccccc} \theta_1 & \theta_2 & \theta_3 & \theta_4 & \theta_5 \end{array} \\ \begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{array} & \begin{pmatrix} 14\,262.5 & 10\,907.5 & 5\,875 & 23\,500 & 11\,975 \\ 21\,918.75 & 17\,326.25 & 10\,437.5 & 41\,750 & 18\,787.5 \\ 28\,612.5 & 22\,617.5 & 13\,625 & 54\,500 & 24\,525 \\ 27\,562.5 & 21\,787.5 & 13\,125 & 52\,500 & 23\,625 \end{pmatrix} \end{array}$$

Далее рассмотрим критерии, с помощью которых можно решить задачу. То есть, выбрать наилучшую альтернативу.

Решение задачи с помощью классических критериев

Классическими критериями принятия решений в условиях неопределённости считаются следующие [2]:

- максиминный критерий;
- оптимистический критерий;
- нейтральный критерий;
- критерий Сэвиджа.

Для каждого критерия приведем алгоритм решения и применим его к вышеописанной задаче.

Максиминный критерий (*ММ*-критерий или критерий Вальда). Этот критерий характеризуется крайней осторожной или пессимистической позицией отношения ЛПР к неопределённости экономического результата.

Целевая функция критерия:

$$Z_{MM} = \max_i \{\min_j a_{ij}\}$$

Оптимистический критерий (*Н*-критерий). Этот критерий характеризуется крайней оптимистической позицией отношения ЛПР к неопределённости экономического результата, то есть, позицией «азартного игрока», уверенного в том, что ему должно повезти, и поэтому склонного к самым рискованным выборам.

Целевая функция критерия:

$$Z_H = \max_i \{\max_j a_{ij}\}$$

Нейтральный критерий (*N*-критерий). Этот критерий характеризуется нейтральной или средневзвешенной позицией отношения ЛПР к возможным значениям конечного экономического результата при случайных ситуациях, описываемых полной группой событий.

Целевая функция критерия:

$$Z_N = \max_i \{\frac{1}{n} * \sum_{j=1}^{n} a_{ij}\}$$

Применим вышеописанные критерии к задаче. Для N-критерия n=5, так как в задаче всего 5 случайных ситуаций, описываемых полной группой событий.

Таким образом, получаем:

Таблица 2 – Классические критерии

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	Z_{MM}	Z_H	Z_N
X_1	14 262.5	10 907.5	5 875	23 500	11 975	5 875	23 500	13 304
X_2	21 918.75	17 326.25	10 437.5	41 750	18 787.5	10 437.5	41 750	22 044
X_3	28 612.5	22 617.5	13 625	54 500	24 525	13 625	54 500	28 776
X_4	27 562.5	21 787.5	13 125	52 500	23 625	13 125	52 500	27 720

Согласно этим критериям оптимальной является альтернатива X_3, то есть, руководителю (ЛПР) стоит принять решение обслуживать государственные организации желаемое время, а остальные – минимально требуемое время: государственные организации – по 30 часов, коксохимические заводы – по 10 часов, а ДМЗ – 30 часов.

Критерий Сэвиджа (*S*-критерий). Этот критерий характеризуется крайней осторожной (пессимистической) позицией отношения ЛПР к к возможным потерям из-за отсутствия достоверных сведений о том, какая из ситуаций, влияющих на экономический результат, будет иметь место в конкретном случае.

Целевая функция критерия:

$$Z_S = \min_i \{\max_j l_{ij}\},$$

где $l_{ij} = \max_i\{a_{ij}\} - a_{ij}$ (элементы новой матрицы потерь L)

Применим критерий к задаче.

Построим матрицу потерь. Для этого в каждой строке выберем максимальный элемент:

Таблица 3 – Критерий Сэвиджа. Максимальные элементы строк

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5
X_1	14 262.5	10 907.5	5 875	23 500	11 975
X_2	21 918.75	17 326.25	10 437.5	41 750	18 787.5
X_3	28 612.5	22 617.5	13 625	54 500	24 525
X_4	27 562.5	21 787.5	13 125	52 500	23 625

Далее отнимем каждый элемент строки от её максимального элемента. Получаем матрицу потерь. к которой применяем вышеописанный алгоритм действий для определения лучшей альтернативы:

Таблица 4 – Критерий Сэвиджа. Матрица потерь

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	Z_S
X_1	14 350	11 710	7 750	31 000	12 550	31 000
X_2	6 693.75	5 291.25	3 187.5	12 750	5 737.5	12 750
X_3	0	0	0	0	0	0
X_4	1 050	830	500	2 000	900	2 000

Согласно этому критерию оптимальной является альтернатива X_3.

Модификация максиминного критерия (MM_{mod}-критерий). Этот критерий, как и представленные выше *ММ*- и *S*-критерии, характеризуется также весьма осторожной, пессимистической позицией отношения ЛПР.

Целевая функция критерия:

$$Z_{MM_{mod}} = \max_i \{\min_j(\hat{a}_{ij})\},$$

где $(\hat{a}_{ij})$ – модифицированная следующим образом матрица полезностей: к каждому элементу любого отдельного столбца матрицы полезностей добавляется одно и то же число, зависящее от столбца $\Delta_j = \max_i \{\max_j a_{ij}\} - \max_i(a_{ij})$.

Применим критерий к задаче.

Построим модифицированную матрицу. Для этого выберем максимальные элементы в столбцах:

Таблица 5 – MM_{mod}-критерий. Максимальные элементы по столбцам

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5
X_1	14 262.5	10 907.5	5 875	23 500	11 975
X_2	21 918.75	17 326.25	10 437.5	41 750	18 787.5
X_3	28 612.5	22 617.5	13 625	54 500	24 525
X_4	27 562.5	21 787.5	13 125	52 500	23 625

Далее рассчитаем «добавки» для каждого столбца (отнимем каждый максимальный элемент столбца от максимального элемента матрицы):

$\Delta_1 = 25\,887.5$; $\Delta_2 = 31\,882.5$; $\Delta_3 = 40\,875$; $\Delta_4 = 0$; $\Delta_5 = 29\,975$.

Получим модифицированную матрицу, сложив каждый элемент столбца с соответствующей «добавкой» и применим к полученной матрице вышеописанный алгоритм действий для определения лучшей альтернативы:

Таблица 6 – MM_{mod}-критерий. Модифицированная матрица

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	$Z_{\mathrm{MM}_{\mathrm{mod}}}$
X_1	40 150	42 790	46 753	23 500	41 950	23 500
X_2	47 806.25	49 208.75	51 312.5	41 750	48 762.5	41 750
X_3	54 500	54 500	54 500	54 500	54 500	54 500
X_4	53 450	53 670	54 000	52 500	53 600	52 500
Δ	25 887.5	31 882.5	40 875	0	29 975	

Согласно этому критерию оптимальной является альтернатива X_3.

Решение задачи с помощью производных критериев

К производным относят критерии, которые модифицируют или обобщают классические критерии:

- критерий Гурвица;
- критерий произведения;
- критерий Гермейера и его модификация;
- критерий наиболее вероятного исхода.

Для каждого критерия приведем алгоритм решения и применим его к вышеописанной задаче. [5]

Критерий Гурвица (HW-критерий). Этот критерий характеризуется взвешенной позицией “пессимизма-оптимизма”, отражающей отношение ЛПР к неопределённости экономического результата.

Целевая функция критерия:

$$Z_{HW} = \max_i \{c * \min_j\{a_{ij}\} + (1-c) * \max_j\{a_{ij}\}\}.$$

где c $(0 \leq c \leq 1)$ – «вес», с которым учитывается оценка классического *ММ*-критерия, а $(1-c)$ – «вес», с которым учитывается оценка классического *Н*-критерия.

Критерий произведения (*P*-критерий). Этот критерий характеризуется менее пессимистической позицией отношения ЛПР к неопределённости экономического результата, чем, например, при *ММ*-критерии, но более пессимистической, чем при *N*-критерии.

Целевая функция критерия:

$$Z_P = \max_i \{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} a_{ij}}\}, \text{ причём } (a_{ij}>0).$$

В случае, если хотя бы один элемент матрицы меньше или равен нулю, используют преобразование всех элементов матрицы полезностей к виду $a_{ij} + a$, $(a > 0)$.

Применим критерий к задаче. В нашем случае *n*=5. тогда матрица с дополнительным столбцом будет иметь вид:

Критерий наиболее вероятного исхода. Особенность использования этого критерия для выбора наилучшего решения при оптимизации соответствующего звена/звеньев цепи поставок обуславливается следующим. В конкретной ситуации ЛПР может оказаться уверенным в том, что среди всех случайных событий полной группы $\{\theta_j,\ j=\overline{1,5}\}$ имеется именно одно такое событие j^*, которое является настолько вероятным, что ЛПР хочет и может, практически не сомневаясь, ориентировать свой выбор применительно к соответствующей ситуации θ_{j^*}.

Целевая функция критерия:

$$Z = \max_i \{a_{ij^*}\}$$

Применим вышеописанные критерии к задаче.

Для критерия наиболее вероятного исхода, какое бы событие не было принято ЛПР за наиболее вероятное, результат будет одинаков – альтернатива X_3, так как в каждом столбце (при каждом событии полной группы) максимальный элемент соответствует именно этой альтернативе. Для критерия Гурвица примем *c*=0.4:

Таблица 7 – Производные критерии

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	Z_{MM}	Z_H	Z_{HW}	Z_P
X_1	14 262.5	10 907.5	5 875	23 500	11 975	5 875	23 500	0.4*5 875+ +0.6*23 500=16 450	12 079.65
X_2	21 918.75	17 326.25	10 437.5	41 750	18 787.5	10 437.5	41 750	0.4*10 437.5+ +0.6*41 750=29 225	19 885.13
X_3	28 612.5	22 617.5	13 625	54 500	24 525	13 625	54 500	0.4*13 625+ +0.6*54 500=38 150	25 957.84
X_4	27 562.5	21 787.5	13 125	52 500	23 625	13 125	52 500	0.4*13 125+ +0.6*52 500=36 750	25 005.26

Согласно этому критерию оптимальной является альтернатива X_3.

Критерий Гермейера (*G*-критерий) и модифицированный *G(mod)*-критерий Гермейера предназначены для решения задач в условиях риска, так как для них необходимо знать вероятности наступления событий полной группы, а для этого ЛПР нужно проводить дополнительные расчёты и искать дополнительную информацию.

Выводы. В ходе работы была формализована задача принятия решения об оптимизации работы по обслуживанию клиентов в условиях неопределённости. К формализованной задаче были применены различные критерии поиска оптимального решения в условиях неопределённости, которые дали одинаковые результаты. Однако, однокритериальные задачи встречаются на практике редко, чаще ЛПР имеет дело с многокритериальными задачами. Так для текущей задачи дополнительным критерием, помимо максимизации прибыли, можно считать минимизацию разницы планового и реально выделенного времени обслуживания.

Из этого следует, что каких-либо особых рекомендаций для выбора критерия определения наилучшей альтернативы нет. Тем не менее, ЛПР стоит выбирать тот критерий, который наиболее близко характеризует его позицию: пессимистическую, нейтральную или оптимистическую. Однако, наилучшей рекомендацией будет использование нескольких критериев, чтобы оценить задачу, если не со всех, то хотя бы с нескольких позиций отношения ЛПР к результатам выбора.

И в заключении хотелось бы отметить, что руководитель организации, принимающий окончательное управленческое решение, основанное на научном подходе больше ориентирован на успех, чем руководитель, который предполагает лишь «шансы на выигрыш».

Список литературы

1. Бродецкий Г.Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределённости. – М.: Academia. 2010. – 336 с.
2. Кочетов Ю. Курс лекций по теории принятия решений. – Режим доступа: http://www.math.nsc.ru/LBRT/k5/.
3. Смирнов Э.А. – Управленческие решения. – М.: ИНФРА -М.2001. – 264 с.
4. Литвак Б.Г. – Разработка управленческого решения. – М.: Издательство «Дело». 2002. – 392 с.
5. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. – М.: Экономика. 1984. – 176 с.

УДК 519.71

О сравнении поведения ОДk-эталона и автоматов, порождаемых его локальными преобразованиями

Вергелес А.А., Копытова О.М.
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра искусственного интеллекта и системного анализа
E-mail: malinka0403@mail.ru

Аннотация

Вергелес А.А., Копытова О.М. О сравнении поведения ОДk-эталона и автоматов, порождаемых его локальными преобразованиями. *Рассматривается инициальный ОД-k автомат-эталон и класс автоматов, которые получаются из эталона переброской нескольких дуг. Для указанного класса вводится бэровская метрика, позволяющая определить расстояние между любой парой автоматов. Найдена достижимая верхняя оценка для этого расстояния. Описаны подклассы автоматов, находящиеся на заданном расстоянии от эталона.*

Ключевые слова: *автомат, ОД-k автомат, поведение, переброска дуг, бэровская метрика.*

Введение. Работа посвящена одной из классических и актуальных проблем теории конечных автоматов - задаче сравнения поведения автоматов с помощью экспериментов. Структура классов автоматов, близких по поведению в том или ином смысле, исследуется достаточно давно [1]. В основном эта задача рассматривалась в рамках теории экспериментов с автоматами [2]. Во многих случаях такие классы можно описать как результат последовательности специальных преобразований над дугами автомата-эталона. Преобразованием такого типа может быть, например, переброска дуг в графе переходов автомата,