УДК 519.87

ЭЛЕМЕНТЫ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ С ДИНАМИЧНЫМИ ВИДАМИ ИЕРАРХИЙ

Вовк С.П., Гинис Л.А.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: gla@sfedu.ru

Представленная статья посвящена анализу таких динамичных видов иерархий, как доминантная иерархия, холархия и гетерархия, в контексте моделирования сложных систем. Особенностью моделирования структуры и принятия решения в них является наличие большого количества факторов количественной и качественной природы, оцениваемых в разных шкалах измерений. В таких условиях применение традиционных оптимизационных алгоритмов затруднительно. Предлагается для решения этой проблемы использовать алгоритм определения максимизирующего управления при задании признаков состояния в виде нечеткого интервала. Алгоритм учитывает, что возможность достижения цели и эталонные состояния описываются с помощью лингвистических интервалов в условиях, когда цели и ограничения заданы на шкалах разной размерности. Принимается, что максимизирующее управление единственно среди возможных управлений разной силы для последующего момента управления и позволяет достигнуть некоторого количественного значения конечной цели. Данный алгоритм можно определить как элемент эволюционного моделирования принятия решения на разных уровнях функционирования сложной системы. Алгоритм основывается на предположении, что сложная система, структура которой определена как гетерархия, описывается нечеткой ситуационной сетью.

Ключевые слова: сложная система, эволюционное моделирование, нечеткая ситуационная сеть, эталонное состояние, нечеткий интервал, принятие решения

ELEMENTS OF EVOLUTIONARY MODELING OF DECISION-MAKING IN COMPLEX SYSTEMS WITH DYNAMIC TYPES OF HIERARCHIES

Vovk S.P., Ginis L.A.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: gla@sfedu.ru

The submitted article is devoted to the analysis of such dynamic types of hierarchies as dominant hierarchy, a holarchy and a heterarchy, in the context of modeling of complex systems. Existence of a large number of factors of the quantitative and qualitative nature is influences modeling of structure and decision-making. For an assessment of such factors scales of different measurements are used. That is why application of traditional optimizing algorithms is difficult. The algorithm for the solution of this problem is offered. The algorithm allows to define maximizing managements when the condition of signs is set in the form of fuzzy interval. The algorithm considers that the possibility of achievement of the purpose and reference states are described by means of linguistic intervals in conditions when the purposes and restrictions are set on scales of different dimension. Is accepted that the maximizing management only among possible managements of different force for the subsequent moment of management. Such management allows to reach some quantitative value of an ultimate goal. This algorithm can be defined as an element of evolutionary modeling decision-making at the different levels of functioning of complex system. The algorithm is based on the assumption that the complex system which structure is defined as a heterarchy is described by an fuzzy situational network.

Keywords: complex system, evolutionary modeling, fuzzy situational network, reference state, fuzzy interval, decision-making

Разработка моделей и алгоритмов принятия обоснованных решений в сложных системах была и остается ключевой проблемой современных научных исследований. Сложная система характеризуется совокупностью элементов и связей, разнообразных по природе и типу, эти элементы и связи динамичны, как следствие, модель сложной системы должна отражать эволюцию ее во времени и пространстве, что усложняет задачу моделирования. Вот почему одним из активно развивающихся сегодня подходов к решению этой проблемы является эволюционное моделирование, описанию отдельных элементов которого и посвящена данная статья, что подтверждает ее актуальность. В [3] подчеркивается, что «в качестве общих свойств сложных динамических систем следует выделить: эволюционность развития, неравновесность, самоорганизацию и самовоспроизведение, нарушение законов симметрии».

Вопрос об «иерархическом порядке» в сложной системе анализируется, обсуждается и раскрывается учеными более 50 лет, и при этом остается немало задач, относительно которых нет четких формализованных ответов. В этой статье мы попытаемся осветить такие задачи в области «иерархического порядка» и эволюционного моделирования, как виды и типы иерархий в сложной системе, подход к формализации задач управления в условиях динамичных видов иерархий, формализация определения обоснованного управления для достижения некоторого эталонного состояния на одном из уровней иерархии.

Организационная структура любой сложной системы многоуровневая, этот постулат не нуждается в доказательстве. В ставшей классикой монографии [6] подробно описана организационная структура многоуровневой системы с точки зрения выделения в ней таких типов иерархий, как:

1) уровень описания, или уровень абстрагирования, называемый стратой;

2) уровень сложности принимаемого решения, называемый – слой;

3) и эшелон как организационный уровень.

Однако в обозначенном труде, как и в большинстве, как правило, рассматривается иерархия в ее классическом понимании (типа «дерево»). И только в последнее время стали появляться работы, в которых рассматриваются динамичные формы иерархий и изучаются свойства систем принятия решений с гетерархической структурой [1], что подтверждает наш выбор.

Теоретический анализ

Современные сложные системы, иерархическое представление, характерные особенности и свойства которых уже анализировались авторами в [10, 11], эволюционируют во времени и пространстве. И в частности, как подчеркивают современные исследователи, например в [5], организационная форма сложной системы обладает свойством гетерархии, что требует формирования новых междисциплинарных методологических подходов. Сравним кратко эти виды иерархий.

В публикации [7] графически описаны три вида иерархий, рисунок, где холархия – это доминантная иерархия с обратной связью (рисунок, в). Следует отметить, что холархии также бывают полными и неполными. Более прогрессивной и современной формой организационной структуры сложной системы на сегодняшний день является гетерархическая структура. Считается, что в классическом понимании примером такой структуры может служить организационная структура глобальной сети Internet. В [9] приводится графическая интерпретация гетерархической структуры (рисунок, г).

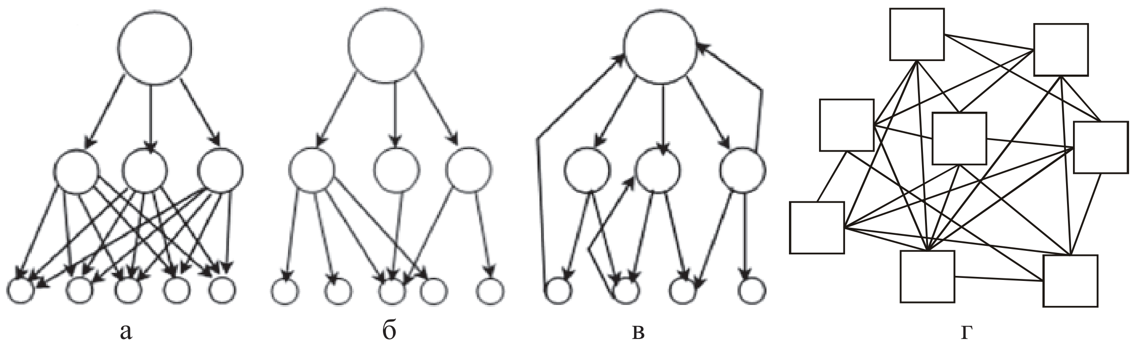
В классическом понимании иерархии по Саймону [8] глобальная цель системы декомпозируется на последовательность подцелей, тогда последовательное достижение совокупности подцелей приводит к достижению полной (глобальной) цели. Такая иерархия целей довольно часто ранее применялась для решения сложных задач. Однако в сложной системе вполне может возникнуть ситуация, когда взаимодействуют элементы внутри подсистемы, структурно подчиненной типу слой по [6].

Именно появление подсистем со своей оргструктурой, акцентом на самоуправление, динамичность, возможность функционировать в автономном режиме и необходимость учета так называемого человеческого фактора доказывает наличие и необходимость исследования гетерархической структуры в сложной системе.

Теоретико-множественный подход к формализации

Итак, примем, что сложная система описывается гетерархической структурой. Тогда сложная проблема принятия решения может быть представлена в виде семейств последовательно расположенных более простых подпроблем, решение которых позволит решить и исходную более простыми моделями и методами. Для чего предлагается разбивать первоначально высокий уровень неопределенности в системе к множеству более мелких неопределенностей путем ввода интервального оценивания.

Такую иерархию проблем называют иерархией слоев принятия решений, а всю систему – многослойной системой принятия



Виды иерархий:
а – доминантная полная; б – доминантная неполная; в – холархия; г – гетерархическая

решений [6]. Достижение цели в системе можно представить как совокупность вертикально расположенных решающих подсистем (или ситуаций) *Si*, т.е. иерархия типа «дерево», что проиллюстрировано в [4].

Возможны два вида иерархии: элементы нижестоящего уровня строго различимы и подчиняются лишь вышестоящему элементу, и элементы нижестоящего уровня могут пересекаться между собой, т.е. мы рассматриваем так называемые сильные и слабые иерархии, которые можно определить как доминантно полные и неполные иерархии.

В этих случаях каждая из таких ситуаций может быть и отображением S_i: $G_i \rightarrow G_{i-1}$, и решающим элементом. А именно, заданы множество решаемых задач $D_i(\gamma_i)$, $\gamma_i \in G_i$ и преобразование T_i, такое, что для любого входа γ_i выход $\gamma_{i-1} = S_i(\gamma_i)$ определяется функцией $\gamma_{i-1} = T_i(x_i)$, где x_i – решение задачи $D_i(\gamma_i)$. Таким образом, входы γ_i выступают в качестве параметров (задаваемых непосредственно вышестоящим элементом), конкретизирующих решаемые задачи в S_i; соответственно, выходы γ_{i-1}, получающиеся после применения преобразования T_i, являются в свою очередь параметрами, задаваемыми непосредственно нижестоящему элементу [6].

Алгоритм

Если отклонение состояния субъекта от желаемой динамики, например, по признаку y_q «исход взаимодействия» описывается нечетким интервалом, то предлагается определять максимизирующее управление для следующего шага принятия решения с помощью разработанного алгоритма.

Введем следующие обозначения: признак управления «исход взаимодействия» обозначим лингвистической переменной y_q; тогда на $\mathbf{I}_i$ уровне иерархии набор признаков – $Y = \left\{ y_1, y_2, ..., y_q, ..., y_q^{t_j} \right\}$; результат взаимодействия систем в некоторый момент времени t_j опишем нечетким интервалом $\tilde{\omega} = [\omega_1, \omega_2]$, $\tilde{\omega}'$ – вспомогательная переменная; $\tilde{C}_0^{t_j}$ и $\tilde{C}_k^{t_j}$ – соответственно текущее и эталонное состояния управляемой системы в момент t_j, описываемые набором признаков Y; $\tilde{\Delta}$ – величина отклонения признака после применения воздействия с целью достижения траектории нарастания нужного для системы качества; $\tilde{H}$ – искомая величина воздействия такая, что управление не изменяет силу воздействия по сравнению с предыдущим моментом управления; искомое множество Парето оптимальных исходов множества $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$ для момента t_j.

1. Представить нечеткий интервал $\tilde{\omega} = [\omega_1, \omega_2]$, которым описывается результат взаимодействия систем в некоторый момент t_j, с помощью нечеткого множества $\tilde{\omega} = \tilde{\omega}_{(a_1, a_2)}$, где a_1 – стратегия управляющей системы, a_2 – стратегия управляемой системы. Если ω_1 и ω_2 заданы на шкалах разной размерности, для представления нечеткого множества на единой шкале, воспользуемся масштабирующими коэффициентами, определяемыми согласно правилу

$$\omega^{(\iota)} = \omega^{(1)} \cdot \frac{Rat_{j\max}^{(\iota)}}{Rat_{j\max}^{(1)}},$$

где $Rat_{j\max}^{(1)}$ – размерность шкалы для оценки признака при применении «слабых» воздействий определяется с помощью суммарного рейтингового числа по всем видам управлений:

$$Rat_{HJ}^{\text{уд}}\ (\Delta t_j) = e(\Delta t)\, Rat_{HJ}^{\text{ут}}.$$

Для определения $Rat_{j\max}^{(\iota)}$ – размерности шкалы для оценки признака при применении воздействий с силой ι, используется операция дополнительного вычитания (–) нечетких чисел.

2. Если предыдущее состояние управляемой системы $\tilde{C}_0^{t_{j-1}}$ описано в виде нечеткого интервала $[\omega_1, \omega_2]$, то представить его в виде нечеткого множества, воспользовавшись функциями принадлежности μ_{γ_1} и μ_{γ_2} термов лингвистической переменной y_q. Если ω_1 и ω_2 заданы на шкалах разной размерности для представления нечеткого множества на единой шкале, воспользоваться масштабирующими коэффициентами.

3. Выполнить сложение $\tilde{C}_0^{t_{j-1}}$ и нечеткого исхода по отдельному признаку $\tilde{\omega}$ для определения текущего состояния $\tilde{C}_0^{t_j}$ управляемой системы: $\tilde{C}_0^{t_j} = \tilde{C}_0^{t_{j-1}} + \tilde{\omega}$.

4. Выполнить нормализацию $\tilde{C}_0^{t_j}$, т.е. представить его на интервале [0, 1].

5. Определить, имеет ли место отклонение текущего состояния $\tilde{C}_0^{t_j}$ от эталонного состояния $\tilde{C}_k^{t_j} \in \Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$ для момента t_j. Отклонения нет, если в $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$ имеется хотя бы один элемент $\tilde{C}_k^{t_j} < \tilde{C}_0^{t_j}$, где $\Omega_{\text{ПАР}}'^{t_j}$ – суженное множество Парето Ω для момента времени t_j.

6. Исходы из $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$, являющиеся нечетким интервалом $[\omega_1, \omega_2]$, представить в виде

нечеткого множества. Для представления воспользоваться функциями принадлежности μ_{γ_1} и μ_{γ_2} термов лингвистической переменной y_q. Если ω_1 и ω_2 заданы на шкалах разной размерности, для представления нечеткого множества на единой шкале воспользуемся масштабирующими коэффициентами.

7. Сравнить $\tilde{C}_k^{t_j}$ и $\tilde{C}_0^{t_j}$ для определения, имеет ли место отклонение: ≤ или ≥ от эталонного состояния $\tilde{C}_k^{t_j} \in \Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$ для момента t_j. Отклонения нет, если в $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$ имеется хотя бы один элемент $\tilde{C}_k^{t_j} < \tilde{C}_0^{t_j}$, для выяснения этого выполняются следующие действия:

7.1. Выяснить, сколько исходов содержит $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$. Если один исход, то $\tilde{\omega}'$ присвоить этот исход и включить переход к п. 7.3; иначе $\tilde{\omega}'$ присвоить первый элемент $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$ и переход к п. 7.3.

7.2. Представить нечеткий интервал, которым описывается $\tilde{\omega}'$, в виде нечеткого множества.

7.3. Сравнить нечеткие множества с параметрами $\tilde{C}_0^{t_j}$ и $\tilde{\omega}'$ для момента управления t_j.

7.4. Если результат процедуры сравнения в п. 7.3 $F\left(\tilde{C}_0^{t_j}\right) - F(\tilde{\omega}') > 0$, то $\tilde{\omega}'$ внести в Ω' и перейти к п. 7.6; иначе переход к п. 7.5.

7.5. Выяснить, существуют ли еще в $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$ не сравнивавшиеся исходы. Если «да», то $\tilde{\omega}'$ присвоить еще не сравнивавшийся исход из $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$ и переход к п. 7.2; иначе – присвоить $\tilde{C}_k^{t_j} = \tilde{\omega}'$, преобразовать нечеткий интервал, которым описывается $\tilde{\omega}'$ в виде нечеткого множества. Спрогнозировать возможность достижения $\tilde{C}_k^{t_j+1}$ по $\tilde{C}_k^{t_j}$ и переход к п. 14 для текущего класса управления ι, результат прогноза – $\Omega_{\text{ПАР}}^{\prime\prime t_j}$. Определяется возможность достижения состояний $\tilde{C}_k^{t_j+1}$ и $\tilde{C}_k^{\tau(t_N)}$ как $POSS\left(\tilde{C}_k^{t_{j+1}} \mid \tilde{C}_k^{t_j} \circ \Phi^{\tau(t_j)}\right)$ и $POSS\left(\tilde{C}_k^{\tau(t_N)} \mid \tilde{C}_k^{t_{N-1}} \circ \Phi^{\tau(t_{N-1})}\right)$ соответственно при применении управления силы τ в моменты времени t_j или t_{N-1}.

7.6. Присвоить $\tilde{C}_k^{t_j} = \min\limits_{\omega(a_1,a_2)\in\Omega_{\text{ПАР}}^{\prime t_j}} \{\omega(a_1, a_2)\}$.

8. Зафиксировать текущую силу воздействия ι как приводящую к минимальной величине исхода, поскольку нет отклонения от эталонного признака в момент t_j.

9. Произвести выбор ветви иерархии для представителей текущего класса управляемой системы с текущей силой воздействия ι для момента t_{j+1}.

10. Найти минимальный элемент в $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j+1}$ [2]. Результат – $\tilde{C}_k^{t_j+1}$.

11. Спрогнозировать, описано в [2], возможность достижения $\tilde{C}_k^{t_j+1}$ по $\tilde{C}_k^{t_j}$ для класса управлений ι. Из процедуры прогноза возвращается $\Omega_{\text{ПАР}}^{\prime\prime t_j}$, $POSS\left(\tilde{C}_k^{t_{j+1}} \mid \tilde{C}_k^{t_j} \circ \Phi^{\tau(t_j)}\right)$, $POSS\left(\tilde{C}_k^{\tau(t_N)} \mid \tilde{C}_k^{t_{N-1}} \circ \Phi^{\tau(t_{N-1})}\right)$, переход к п. 17.

12. Определить величину отклонения $\tilde{\Delta}$ по [2].

13. Найти минимальный элемент $\tilde{C}_k^{t_{j+1}}$ в $\Omega_{\text{ПАР}}^{\prime t_j}$ [2]. Результат – $\tilde{C}_k^{t_{j+1}}$. Преобразовать нечеткий интервал, которым описывается $\tilde{C}_k^{t_{j+1}}$, в нечеткое множество.

14. Выполнить сложение $\tilde{H} = \tilde{C}_k^{t_j} + \tilde{\Delta}$. Для этого воспользуемся операцией суммирования с использованием уровневых множеств.

15. Определить элемент $\tilde{H}' \geq \tilde{C}_k^{t_j} + \tilde{\Delta}$ в множестве $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_j}$. Если в процессе определения выяснено, что $\tilde{H}'$ отсутствует, то переход к п. 19; иначе к п. 16.

16. Спрогнозировать, описано в [2], возможность достижения $\tilde{C}_k^{t_{j+1}}$ по $\tilde{H}'$ для текущего класса управления ι. Из процедуры прогноза возвращается $\Omega_{\text{ПАР}}^{\prime\prime t_j}$, $POSS\left(\tilde{C}_k^{t_{j+1}} \mid \tilde{C}_k^{t_j} \circ \Phi^{\tau(t_j)}\right)$, $POSS\left(\tilde{C}_k^{\tau(t_N)} \mid \tilde{C}_k^{t_{N-1}} \circ \Phi^{\tau(t_{N-1})}\right)$.

17. Запросить лицо, принимающее решение (ЛПР), об удовлетворенности, найденной возможности достижения $\tilde{C}_k^{t_{j+1}}$ по $\tilde{H}'$ в п. 16. Если «да», то переход к п. 18, иначе к п. 19.

18. Запросить ЛПР об удовлетворительности $POSS\left(\tilde{C}_k^{\tau(t_N)} \mid \tilde{C}_k^{t_{N-1}} \circ \Phi^{\tau(t_{N-1})}\right)$. Если «да», то в момент t_{j+1} использовать управление, давшее результат в п. 16 и переход к п. 23; иначе переход к п. 19.

19. Проанализировать предыдущие ветви иерархии, отвечающие предыстории процесса и характеризующиеся различной силой управления ι, и выяснить, существуют ли ветви иерархии, моделирующие силу управления ι = ι + 1.

19.1. Если такие ветви найдутся, то увеличить на 1 силу управления ι = ι + 1 и перейти к п. 19.2.; иначе переход к п. 21.

19.2. Промоделировать ситуацию с новой силой управления τ. Результатом является множество Парето-оптимальных исходов $\Omega_{\text{ПАР}}^{t_{j+1}}$.

19.3. Исходы из $\Omega^{t_j}_{\text{ПАР}}$, являющиеся нечетким интервалом $[\omega_1, \omega_2]$, представить его в виде нечеткого множества. Для представления воспользоваться функциями принадлежности μ_{γ_1} и μ_{γ_2} термов лингвистической переменной y_q. Если ω_1 и ω_2 заданы на шкалах разной размерности для представления нечеткого множества на единой шкале, воспользоваться масштабирующими коэффициентами.

19.4. Найти $\tilde{C}^{t_{j+1}}$ с минимальным значением в $\Omega^{t_{j+1}}_{\text{ПАР}}$ [2].

20. Определить возможность достижения ближайшего эталонного состояния $\tilde{C}^{t_{j+1}}_k$ по $\tilde{C}^{t_j}_0$ или $\tilde{H}$ для текущего класса управлений ι, описано в [2]. Если $POSS\left(\tilde{C}^{t_{j+1}}_k \mid \tilde{C}^{t_j}_k \circ \Phi^{\tau(t_j)}\right)$ удовлетворяет ЛПР, то переход к п. 18; иначе переход к п. 19.

21. Определить эталонное состояние $\tilde{C}^{t_{j+1}}_{k1}$ минимально меньше $\tilde{C}^{t_{j+1}}_k$ по признаку y_q.

21.1. Присвоить класс k_1 самому «слабому» по способности к приобретению нужного качества на уровне иерархии I_i.

21.2. Сравнить $\tilde{C}^{t_{j+1}}_{k1}$ и $\tilde{C}^{t_{j+1}}_k$.

21.3. Присвоить $\text{MAX} = F\left(\tilde{C}^{t_j}_k\right) - F\left(\tilde{C}^{t_j}_{k1}\right)$.

21.4. Присвоить класс k_2 более «высокому» по способности к приобретению нужного качества на уровне иерархии I_i.

21.5. Если $F\left(\tilde{C}^{t_j}_k\right) - F\left(\tilde{C}^{t_j}_{k1}\right) < \text{MAX}$, то переход к п. 21.3; иначе выяснить, существуют ли более «высокие» по способностям к приобретению нужного качества классы. Если да, то переход к п. 21.4; иначе переход к п. 22.

22. Выполнить пп. 5–16 с вновь установленной принадлежностью к классу $k = k_1$ или $k = k_2$ в зависимости от результатов п. 21 исследуемого уровня иерархии I_i на основе найденного максимального значения.

23. Конец.

Заключение

В данной статье предлагается использовать гетерархическую структуру для описания модели сложной системы в виде нечеткой ситуационной сети. Представленный в данной статье алгоритм претендует на достижение решения за конечное время, а его отличительной чертой является возможность уточнения решения в ходе самого решения, что позволяет соотнести его с эволюционным моделированием. В качестве цели возможно использовать не единственное, а набор альтернативных решений, а эталонное состояние определять как набор признаков. Интервальное оценивание учитывает показатели различной природы, силу связи и позволяет проводить качественный анализ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-07-00335 «Иерархическая организация нейроэволюционных вычислений».

Список литературы

1. Бадьянов В.И., Трофимцев Ю.И. Иерархия и гетерархия в системе принятия решений. – М.: Дело. 2010. 225 с.

2. Вовк С.П. Ситуационное управление и нечеткие игры в моделировании организационных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 147 с.

3. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.

4. Гинис Л.А., Вовк С.П.Определение четко доминирующих тактик для выработки альтернативных управляющих решений в условиях полной неопределенности // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 29. – № 2. – С. 30. – Режим доступа: http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2327.

5. Малышев Ю.А., Яцкова Ю.В. Методологические основы научных исследований к решению проблем управления расширенным воспроизводством экономических и социальных систем региона при их взаимодействии в условиях постиндустриального общества // В мире научных открытий. – 2015. – № 12 (72). – С. 216–233.

6. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем / пер. с англ. под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

7. Понятие об иерархии. Портал «Студалл. Орг». – Режим доступа: URL: http://studall.org/all2-23364.html.

8. Саймон Г. Науки об искусственном: пер. с англ. Э.Л. Наппельбаума. – М.: Едиториал, УРСС, 2004. – 144 с.

9. Хиценко В.Е. Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения. – М.: КомКнига, 2005. – 224 с.

10. Bozhenyuk A.V., Ginis L.A. Modeling and analysis of complex systems on the basis of fuzzy graph models // Life Science Journal. – 2014. – Т. 11. – № 7s. – P. 187–191.

11. Vovk S.P., Ginis L.A. Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems // European Researcher. – 2012. – Vol. (20), № 5–1. – P. 541–545.

References

1. Badjanov V.I., Trofimcev Ju.I. Ierarhija i geterarhija v sisteme prinjatija reshenij. M.: Delo. 2010. 225 p.

2. Vovk S.P. Situacionnoe upravlenie i nechetkie igry v modelirovanii organizacionnyh sistem. Taganrog: TSURE Press, 2002. 147 p.

3. Emeljanov V.V., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M. Teorija i praktika evoljucionnogo modelirovanija. M.: FIZMATLIT, 2003. 432 p.

4. Ginis L.A., Vovk S.P. Opredelenie chetko dominirujushhih taktik dlja vyrabotki alternativnyh upravljajushhih reshenij v uslovijah polnoj neopredelennosti // Engineering Journal of Don. 2014. T. 29. no. 2. pp. 30. Available at: http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2327.

5. Malyshev Ju.A., Jackova Ju.V. Metodologicheskie osnovy nauchnyh issledovanij k resheniju problem upravlenija rasshirennym vosproizvodstvom ekonomicheskih i socialnyh sistem regiona pri ih vzaimodejstvii v uslovijah postindustrialnogo obshhestva // V mire nauchnyh otkrytij. 2015. no. 12 (72). pp. 216–23.

6. Mesarovic M.D., Macko D. and Y. Takahara. Theory of hierarchical, multilevel systems. New York and London: Academic Press, 1970. 344 p.

7. Ponjatie ob ierarhii. Available at: http://studall.org/all2-23364.html (accessed 22 March 2016).

8. Simon H. The sciences of the artificial. London: The MIT Press. 1996. 241 p.

9. Hicenko V.E. Samoorganizacija: elementy teorii i socialnye prilozhenija. M.: KomKniga, 2005. 224 p.

10. Bozhenyuk A.V., Ginis L.A. Modeling and analysis of complex systems on the basis of fuzzy graph models // Life Science Journal. 2014. T. 11. no. 7s: pp. 187–191.

11. Vovk S.P., Ginis L.A. Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems // European Researcher. 2012. Vol. (20), no. 5–1. pp. 541–545.