

## КОГНИТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЦЕЛЕЙ: СТРУКТУРЫ И МОДЕЛИ

М. А. Поляков

*Запорожский национальный технический университет*

**Аннотация.** Рассмотрены когнитивные системы управления на основе DIKW- пирамид знаний и многоуровневых подсистем деятельности, использующих динамический комплекс целей своего функционирования. Описаны характеристики, предложены теоретико-множественные модели целей, сформулированы принципы выбора стратегии целеполагания. Предложены функциональные структуры для реализации целевого управления, которые представляют собой верхние уровни в подсистеме деятельности когнитивной системы управления.

**Ключевые слова:** функциональные структуры управления целями, когнитивное управление, теоретико-множественные модели структур управления.

### Введение

Наблюдаемая устойчивая тенденция усложнения структур управления в технических системах есть ответная реакция на рост сложности объектов управления в ходе продолжающихся научно-технических революций. Структуры управления сложными объектами являются иерархическими и одним из способов организации иерархии является использование пирамид форм знаний и деятельностей [1-3].

Системы управления, основанные на знаниях и использовании когнитивных способностей, называют когнитивными системами управления. Переход от информационно-управляющих к когнитивным системам позволил расширить базу знаний используемых для управления, что является предпосылкой повышения качества управления.

Примерами когнитивных систем могут служить системы управления роботами, энергосистемами, кораблями и другие системы, играющие важную роль в промышленном производстве, структурах «умных» домов, городов и т.п.

### 1. Постановка задачи исследования

«Знать цель, к которой мы стремимся, - это рассудительность; достигнуть этой цели - верность взгляда; остановиться на ней - сила; попасть далее цели - дерзость».  
(Шарль Дюкло)

Когнитивные управления системы являются целевыми, то есть такими, что направляют свою деятельность на достижение поставленных целей.

© Поляков М. А., 2018

Под целью будем понимать формальное описание конечных ситуаций, к достижению которых стремится любая саморегулируемая функционирующая система [4].

При программной реализации деятельности системы цель процесса определяется как цель высокого уровня выполнения процесса и вероятные выходы эффективной реализации процесса [5].

Категории целей используются при описании когнитивных процессов в мозге человека [6], процессов проектирования технических систем [7], менеджмента организаций [8].

В работах [1, 3, 7, 9] описан уровень целевого управления, которое реализуется при исполнении деятельности конечного автомата (FSM) управления целями.

Каждое состояние этого автомата ассоциировано с определенной целью функционирования системы управления. Деятельность в каждом состоянии направлена на достижение цели состояния и является выходом автомата. Переход от одного состояния к другому происходит при определенных условиях, которые являются входами автомата.

В известных работах не рассмотрены вопросы многоцелевого управления, взаимовлияния целей, вопросы целеполагания в когнитивных системах управления которые требуют детализации и формализации.

Целью работы является сокращение цикла проектирования КСУ на основе применения типовых элементов и структур для управления динамическим комплексом целей.

Задачей работы является разработка теоретико-множественных моделей элементов и структур динамического управления комплексом детерминированных и нечетких целей.

## 2. Характеристики и модели динамического комплекса целей

Будем различать характеристики целей и характеристики процессов их достижения. Единичную цель опишем с помощью следующих характеристик:

1. Вид цели по отношению к системным характеристикам объекта управления  $M_1$ : стабилизация, ограничение, экстремальная цель, цель смешанного вида. Примером цели смешанного вида может служить цель стабилизации по одним параметрам в сочетании с ограничением по другим. Примерами системных характеристик объекта управления могут служить экономичность, эффективность, производительность, надежность, безопасность, качество управления и другие.

2. Уровень охвата целевой проблемы, совершенство цели  $M_2$ : максимальная, минимальная или умеренная цель.

3. Потребность цели в системных ресурсах  $M_3$ : количество ресурсов каждого вида, необходимых для достижения цели. В некоторых случаях учитывается неопределенность в количестве этих ресурсов, и задаются допустимые интервалы или распределения вероятностей значений ресурсов.

4. Четкость постановки  $M_4$ : характеризуется степенью уверенности в необходимости достижения данной цели – число в интервале от 0 до 1,0. Значение «1,0» соответствует высшей степени уверенности, а «0» – полное отсутствие уверенности в такой необходимости.

5. Измеримость результата от достижения цели  $M_5$ : результат может быть качественным или количественным, наблюдаемым или ненаблюдаемым.

6. Доход от достижения цели  $M_6$ : определяется путем суммирования изменений по отдельным сторонам деятельности системы управления.

Цель в составе комплекса целей обладает перечисленными выше характеристиками единичной цели и имеет следующие дополнительные характеристики:

7. Приоритет цели  $M_7$ : определяет ее относительную ценность, порядок выполнения и распределение системных ресурсов для зависимых целей. Параметры приоритета комплекса целей описываются матрицей строкой приоритетов  $M_7 = \|m_{7i}\|$ , где  $m_{7i}$  – приоритет  $i$ -ой цели, который выражается целым неотрицательным числом. Чем меньше это число, тем выше приоритет.

8. Влияние цели  $M_8$ : описывает влияние процесса реализации данной цели на другую цель. Параметры влияния комплекса целей описываются матрицей влияния  $M_8 = \|m_{8ij}\|$ , где  $m_{8ij}$  – троичная или лингвистическая переменная. Троич-

ная переменная принимает значения «не влияет», «приближает» или «отдаляет» достижение  $j$ -ой цели при реализации  $i$ -ой. Лингвистическая переменная содержит терм множество с аналогичными названиями.

9. Независимость цели  $M_9$ : описывает возможность достижения данной цели вне зависимости от деятельности по достижению других целей. Параметры независимости комплекса целей описываются матрицей зависимости  $M_9 = \|m_{9ij}\|$ , где  $m_{9ij}$  – двоичная переменная, которая принимает значения «независимая», «зависимая» для  $i$ -ой цели по отношению к  $j$ -ой.

10. Ресурсы системы для достижения целей  $M_{10}$ : потребность в системных ресурсах для осуществления деятельности по достижению цели. Этот параметр комплекса целей описывается матрицей  $M_{10} = \|m_{10ik}\|$ , где  $m_{10ik}$  – потребность  $i$ -ой цели в  $k$ -м системном ресурсе. С помощью этой матрицы можно определить виды системных ресурсов, по которым две цели являются конкурирующими.

11. Эффективность целей  $M_{11}$ : результат сравнения доходов от достижения цели с расходами на ее достижение в виде их разности или отношения. Параметры эффективности комплекса целей описываются матрицей-строкой  $M_{11} = \|m_{11i}\|$ , где  $m_{11i}$  – эффективность  $i$ -ой цели.

Состояние процессов достижения цели будем характеризовать следующими характеристиками:

1. Возможность достижения цели в текущий момент времени  $S_1$ : бинарная (возможно/невозможно) или лингвистическая (с терминами «возможно», «невозможно», «сомнительно») переменная.

2. Состояние (завершенность) процесса реализации данной цели  $S_2$ : бинарная (завершен/продолжается).

3. Обеспеченность процесса достижения цели системными ресурсами и наличие механизмов реализации  $S_3$ : бинарная (обеспечен, не обеспечен; в наличии, отсутствуют) или лингвистическая (с терминами «обеспечена полностью», «обеспечена частично», «ресурсы или механизмы отсутствуют») переменная. В случае необеспеченности процесса ресурсами или механизмами реализации говорят о решении целевой задачи «в постановке».

4. Эффективность процесса достижения цели  $S_4$ : характеризует соотношение доходов и расходов на реализацию. Эффективность может быть оценена бинарной или лингвистической переменной. С помощью бинарной переменной процесс может быть оценен как «эффективный» или «не эффективный». Возможные термины лингви-

стической переменной это «низкая», «средняя» и «высокая эффективность».

Приведенная классификация не является исчерпывающей и возможно появление новых характеристик при расширении круга задач целевого управления.

На логику выбора целей и инструментов обработки знаний о целях оказывает существенное влияние формулировка цели. В простейшем случае это высказывание – повествовательное предложение, истинность которого оценивается в ходе обработки знаний о целях.

Если истинность цели зависит от ее параметров, то цель формулируют в виде предиката [10] – переменного высказывания, истинность которого зависит от его параметров. Предикаты целей могут быть связаны логическими связками:  $\neg$  - отрицание;  $\forall$  - «для всех», квантор всеобщности;  $\exists$  - «существует», квантор существования;  $\Rightarrow$  - «следует», импликация. Таким способом формулируются комплексные цели.

Теоретико-множественной моделью  $i$  – ой цели  $A_i$  будем называть кортеж вида  $A_i = \langle F_i, M_i \rangle$ , где  $F_i$  – формулировка  $i$  – ой цели;  $M_i$  – множество параметров  $i$  – ой цели.

Теоретико-множественной моделью комплекса целей  $A_i$  будем называть кортеж вида  $A_i = \langle F_i, M_i \rangle$ , где  $F_i$  – формулировка  $i$  – ой цели;  $M_i$  – множество параметров  $i$  – ой цели.

### 3. Уровень целеполагания

Этапу деятельности по достижению заданных целей должен предшествовать этап определения стратегии работы с целями. В ходе этого этапа система управления определяет:

1. Множество актуальных целей. Это может быть одна наиболее приоритетная цель или некоторое подмножество известных системе целей.

2. Возможность параллельной деятельности по достижению актуальных целей или целесообразность последовательной работы по достижению целей.

3. Стратегию распределения системных ресурсов между актуальными целями: поровну, по остаточному принципу для низкоприоритетных целей и другие.

Алгоритмы целеполагания определяются составом и значениями параметров комплекса целей, часть из которых может быть не определена к моменту целеполагания.

Стратегия выбора целей может быть заложена в алгоритм функционирования системы (например, в форме дерева целей) или определяется системой самостоятельно в зависимости от текущих факторов процесса достижения целей.

Целеполагание на основе дерева целей предполагает разбиение множества целей на подгруппы с ранжированием подгрупп по приоритетам, ранжирование целей по приоритетам в пределах каждой подгруппы и назначение начальной цели. После достижения начальной цели или потери ее актуальности, невозможности выполнения, выполняется следующая по приоритету цель в данной группе. Если нет актуальной цели в данной группе, то переходим к более общей подгруппе. Пример дерева целей приведен на рис.1.

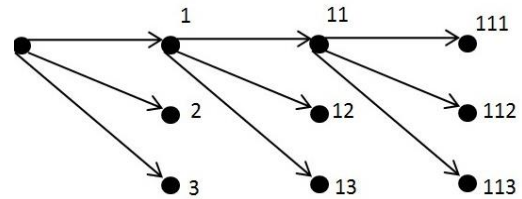


Рис. 1 Пример дерева целей

Пусть цель №111 определена как начальная. После достижения этой цели или отказа от этой цели, выполняются цели №№ 112, 113, 121, 122, 123, 131 и т.д. вплоть до цели №333.

Возможны следующие стратегии целеполагания:

1. Расширения множества  $M_a$  активных (принятых к достижению) целей путем включения в него наиболее эффективных, приоритетных, обеспеченных ресурсами целей из множества  $M_p$  потенциальных (возможных) целей (стратегия «расширяющегося целевого ядра»).

2. Образование множества  $M_a$  из множества  $M_p$  путем отказа от наиболее неэффективных и низкоприоритетных целей, которые не обеспечены ресурсами (стратегия «отбрасывания неэффективных целей»).

Блок схема алгоритма выбора одной цели приведена на рис.2. В описании алгоритма использованы следующие обозначения:

$A_b$  – массив база для выбора активных целей;

$A_r$  – массив активных целей, т.е. целей, которые реализуются или отобраны для реализации;

$A_p$  – массив потенциальных целей, т.е. целей, которые в текущий момент сняты с реализации.

В результате выполнения алгоритма рис. 2 из массива  $A_b$  в массив  $A_r$  перемещается одна цель, которая обеспечена ресурсами и эффективна. Выбор цели производится по ее приоритету  $M_7$  и эффективности процесса  $S_4$  достижения цели. Если цель не обеспечена ресурсами, то она модифицируется путем снижения уровня охвата целевой проблемы. Если необходимо осуществлять выбор цели по нескольким параметрам, то их вклад в общую оценку может быть учтен с

помощью масштабирующих коэффициентов или с использованием нечеткого контроллера [10].

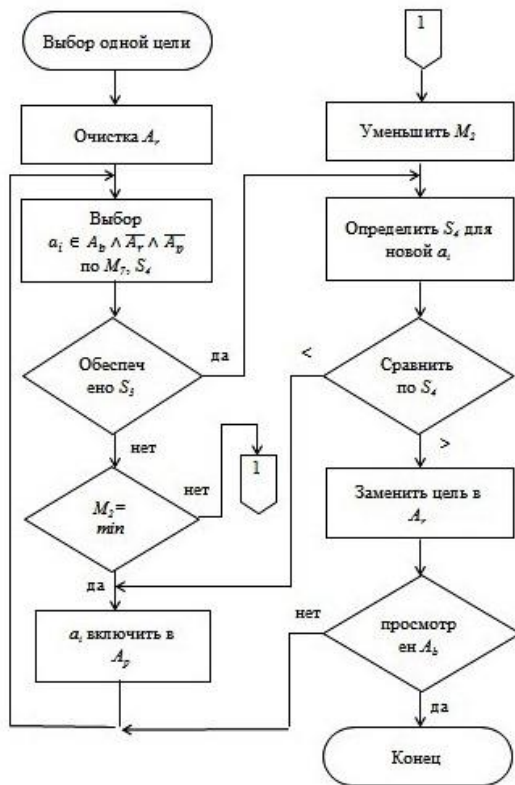


Рис. 2 Блок схема алгоритма выбора одной цели

При выборе цели с использованием масштабирующих коэффициентов введем интегральный показатель эффективности  $i$ -ой цели по  $k$  параметрам

$$E_i = \sum_{i=1}^k \alpha_i p_i,$$

где  $\alpha_i, p_i$  – коэффициент значимости и нормированное значение  $i$ -го параметра цели. Нормированное значение  $i$ -го параметра цели определим по формуле:

$$p_i = \frac{P_i}{P_{i \max}},$$

где  $P_i, P_{i \max}$  – фактическое и максимально возможное значение  $i$ -го параметра цели. Коэффициенты значимости должны соответствовать условию

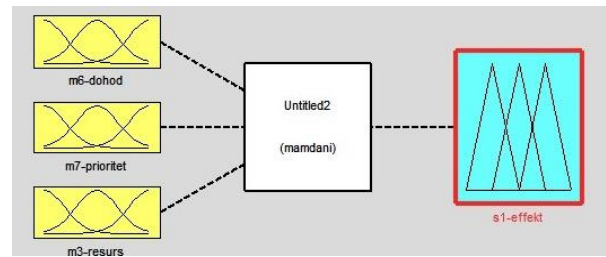
$$\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1.$$

Для выбранной цели должно соблюдаться условие

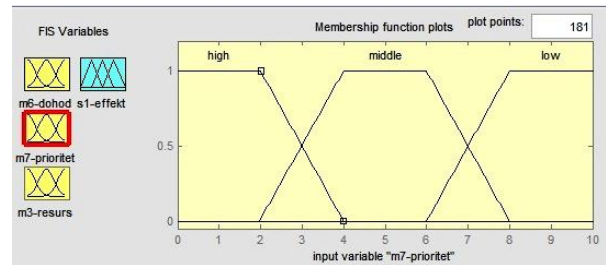
$$\max(E_j), j = \overline{1, N},$$

где  $N$  – количество целей.

Пример определения показателя эффективности цели с использованием нечеткого (fuzzy) контроллера приведен на рис. 3.



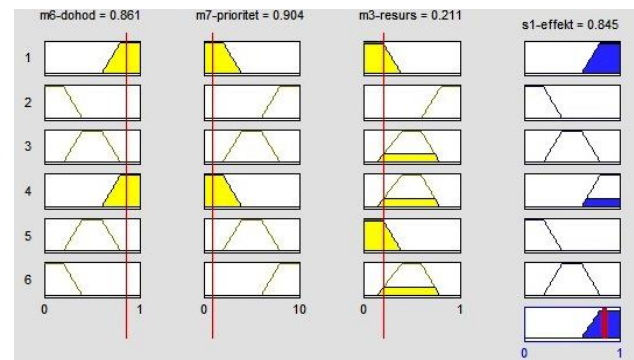
а)



б)

1. If (m6-dohod is high) and (m7-prioritet is high) and (m3-resurs is low) then (s1-effekt is high) (1)
2. If (m6-dohod is low) and (m7-prioritet is low) and (m3-resurs is high) then (s1-effekt is low) (1)
3. If (m6-dohod is middle) and (m7-prioritet is middle) and (m3-resurs is middle) then (s1-effekt is middle) (1)
4. If (m6-dohod is high) and (m7-prioritet is high) and (m3-resurs is middle) then (s1-effekt is high) (1)
5. If (m6-dohod is middle) and (m7-prioritet is middle) and (m3-resurs is low) then (s1-effekt is low) (1)
6. If (m6-dohod is low) and (m7-prioritet is low) and (m3-resurs is middle) then (s1-effekt is middle) (1)

в)



г)

Рис. 3 Нечеткий контроллер для выбора цели: структура - а); функции принадлежности термов переменной «приоритет цели» - б); фрагмент базы знаний - в); пример вычисления показателя  $E_j$  - г).

При высокой доходности (0,861) и приоритете (0,904), не высокой потребности в ресурсах (0,211) получен высокий коэффициент эффективности (0,845).

#### 4. Структуры целеполагания

Структуры целеполагания охватывают уровни выбора стратегии управления и управления целями в подсистеме деятельности когнитивной системы управления. Уровень выбора стратегии управления является новым по отношению к

описанным в [1-3]. Его появление подтверждает тезис о перспективности развития систем путем «управления управлениями», т.е. путем создания новых уровней в иерархии управления.

Структура целеполагания приведена на рис.4.

Уровень стратегии управления целями является ведущим в структуре целеполагания. Он содержит входные (ВхОА), выходные (ВыхОА) операционные автоматы и управляющий автомат (FSM). Этот FSM имеет управляющие выходы (COOutput) через которые команды управления (например, активизировать, остановить, сбросить и другие) передаются на управляющие входы автоматов FSM управления комплексами целей уровня целевого управления. Управляющий вход FSM уровня стратегии управления целями в перспективе будет подключен к следующему уровню. Вероятнее всего это будет уровень генерации целей.

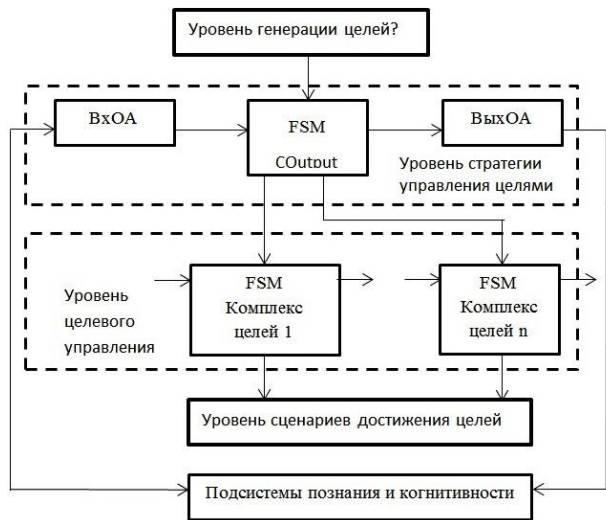


Рис. 4 Структура целеполагания

Автоматы ВхОА производят переработку знаний поступающих из подсистем познания и когнитивности. В результате чего на выходах автоматов ВхОА формируются события управления.

Информационные выходы FSM уровня стратегии управления соединены со входами автоматов ВыхОА, которые передают знания в подсистемы познания и когнитивности.

### Выводы

Цели функционирования когнитивной системы управления изменяются в процессе ее работы. Текущая цель выбирается в результате анализа характеристик комплекса потенциальных целей и состояния процесса достижения цели.

Предложены комплексы характеристик отдельных целей и целей в комплексе, а также процесса достижения цели. Параметры целей задаются бинарными, тернарными, нечеткими и

лингвистическими переменными. В логике выбора задействовано название цели, которое формулируется в виде предиката.

С использованием предложенных характеристик комплекс целей описан на теоретико-множественном уровне.

Наличие динамического комплекса целей требует выполнения работ по определению стратегии работы с целями. Эти работы вынесены в отдельный уровень в подсистеме деятельности когнитивной системы управления. Определены алгоритмы выбора целей и структура этого уровня.

### Список использованной литературы

1. Поляков, М. А. Когнитивные системы управления: структуры и модели. [Текст] /Поляков, М. А. //Електротехнічні та комп'ютерні системи. –2017. – № 25 (101). 2017. С. 387–393.

2. Poliakov, M., Henke, K. and Wuttke, H. - D. "Prospects for constructing remote laboratories for the study of cognitive systems [Text]," 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Bucharest, 2017, pp. 965–968.

3. Поляков, М. А. Теоретико-множественные модели функциональных структур когнитивного управления. [Текст] /Поляков, М. А. // (2017). Системні технології. № 3 (110). – Дніпро, – С. 16–23.

4. Словарь практического психолога. [Текст]/ Сост. Головин, С. Ю.. // Харвест, Минск, 1998, 622 с.

5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. [Текст]/ Москва: Стандартинформ, 2011, 105 с.

6. Кубрякова, Е. С. Краткий словарь когнитивных терминов [Текст]/ Издательство: Филол. ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова. 1997. 245 с.

7. Научная сессия НИЯУ МИФИ–2010. XII Всероссийская научно-техническая конференция «НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2010»: Лекции по нейроинформатике [Текст]. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 328 с.

8. Цветков, В. Я., Соловьев, И. В. Принципы когнитивного управления сложной организационно-технической системой. [Текст]. / Государственный советник. Изд.: Экологическая помощь (Воронеж) №1(13), 2016, с. 27–32.

9. Карпов, Ю. Г. Теория автоматов. [Текст]. – СПб., Питер, 2002. – 224 p



10. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. [Текст]. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005, —736 с.: ил.

### References

1. Poliakov, M. (2017). Cognitive control system: structures and models [Kognitivnyie sistemyi upravleniya: strukturyi i modeli.] /Poliakov, M.. //Electrotecnic and computer systems.— № 25 (101). 2017. P. 387–393.

2. Poliakov, M., Henke, K. and Wuttke, H.-D., (2017). "Prospects for constructing remote laboratories for the study of cognitive systems," *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, Bucharest, pp. 965–968.

3. Poliakov, M. A.(2017) Set-theoretical models of functional structures of systems of cognitive control [Teoretiko- mnozhestvennyie modeli funktsionalnyih struktur kognitivnogo upravleniya]. //System technologies. №3 (110). - Dnipro, – P. 16–23.

4. Dictionary of practical psychologist (1998) [Slovar prakticheskogo psihologa]. / Sost. Golovin, S. Yu. // Harvest, Minsk, 622 p.

5. GOST R ISO / IEC 12207-2010 Information technology. System and software engineering. Processes of the life cycle of software. (2011), [GOST R ISO/MEK 12207-2010 Informatsionnaya

tehnologiya. Sistemnaya i programmaya inzheneriya. Protsessyi zhiznennogo tsikla programmnyih sredstv]. / Moscow: Standartinform, 105 p.

6. Kubryakova, E. S (1997) Short dictionary of cognitive terms [Kratkiy slovar kognitivnyih terminov]. / Publisher: Filol. Faculty of Moscow State University. M.V. Lomonosov. 245 p.

7. Scientific session of NNPU MPhI-2010. XII All-Russian Scientific and Technical Conference "Neuroinformatics-2010": Lectures on Neuroinformatics (2010) [Nauchnaya sessiya NIYaU MIFI–2010. XII Vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «NEYROINFORMATIKA–2010»: Lektsii po neyroinformatike ]. / - M.: NNIU MEPI, 328 p.

8. Tsvetkov, V. Ya., Solovev, I. V. (2016) Principles of cognitive management of a complex organizational and technical system. [Printsiipy kognitivnogo upravleniya slozhnoy organizatsionno-tehnicheskoy sistemoy]. / State Counselor. Izd.: Ecological assistance (Voronezh) №1 (13), p. 27–32.

9. Karpov, Ju. G. (2002) Automata theory [Teoriya avtomatov]. – Saint Petersburg, Piter, 224 p.

10. Leonenkov, A. V. (2005) Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH. [Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH]. – St. Petersburg BXV- Petersburg, –736 p.

## COGNITIVE CONTROL BASED ON DYNAMIC COMPLEX GOALS: STRUCTURES AND MODELS

Mykhailo Poliakov

Zaporizhzhia National Technical University

**Annotation.** Cognitive control systems based on DIKW-pyramids of knowledge and multi-level subsystems of activity that use the dynamic complex of the goals of their functioning are considered. Describes the characteristics of individual goals and sets of these objectives, such as type, coverage, clarity of setting, income from achieving the goal, the need for system resources, priority, the degree of influence on other goals, competing system resources, the effectiveness of goals, and others. These characteristics determine the state of the processes of achieving the goal in the cognitive control system.

The activity of the control system for the selection of a strategy for managing goals is allocated to a separate sub-level in the pyramid of cognitive control system activities. The principles of choosing a goal-setting strategy based on the goal tree traversal, expansion of the core and the elimination of ineffective goals are formulated. The block diagram of the algorithm for selecting one goal is given. A fuzzy controller for target selection is described. Functional structures are proposed for the implementation of the goal control, which represent the upper levels in the subsystem of the cognitive control system. These levels consist of input and output operating machines, as well as finite control automata. The input operating automata handle the knowledge that comes from the knowledge and cognition subsystems, and the output operating automata form the knowledge for these subsystems. At the level of goal control, the FSM initiate the selection of a scenario for achieving the goals. In turn, these state machines are initiated and adapted by signals from the goal-setting level.

**Key words:** *functional structures of control goals, cognitive control, set-theoretical models of control structures.*

## КОГНІТИВНІ УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЦІЛЕЙ: СТРУКТУРИ І МОДЕЛІ

**М. О. Поляков**

*Запорізький національний технічний університет*

**Анотація.** Розглянуто когнітивні системи управління на основі ДІКВ-пірамід знань і багаторівневих підсистем діяльності, що використовують динамічний комплекс цілей свого функціонування. Описано характеристики окремих цілей і комплексів з цих цілей, такі як вид, рівень охоплення, чіткість постановки, дохід від досягнення мети, потреба в системних ресурсах, пріоритет, ступінь впливу на інші цілі, конкуруючі системні ресурси, ефективність цілей та інші. Ці характеристики визначають стан процесів досягнення мети в когнітивній системі управління.

Запропоновано теоретико-множинні моделі мети і комплексу цілей як кортежу його формулювання і безлічі параметрів цілей. Параметри цілей задані бінарними, тернарними, нечіткими та лінгвістичними змінними. У логіці вибору задіяне назву цілі, яка формулюється у вигляді предиката.

Діяльність системи управління на вибір стратегії управління цілями виділена в окремий підрівень в піраміді діяльності когнітивної системи управління. Сформульовано принципи вибору стратегії цілепокладання на основі обходу дерева цілей, розширення ядра і виключення неефективних цілей. Наведено блок-схема алгоритму вибору однієї мети. Описано нечіткий контролер для вибору цілей.

Запропоновано функціональні структури для реалізації цільового управління, які представляють собою верхні рівні в підсистемі діяльності когнітивної системи управління. Ці рівні складаються з вхідних і вихідних операційних автоматів, а також керуючих автоматів. Вхідні операційні автомати обробляють знання, які надходять від підсистем пізнання та когнитивності, а вихідні операційні автомати формують знання для цих підсистем. На рівні цільового управління автомати управління цілями ініціюють вибір сценарію діяльності по досягненню цілей. У свою чергу ці кінцеві автомати ініціюються і адаптуються сигналами з рівня цілепокладання.

**Ключові слова:** *функціональні структури управління цілями, когнітивне управління, теоретико-множинні моделі структур управління.*

Получено 25.03.2018



**Поляков Михаил Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры электрических и электронных аппаратов Запорожского национального технического университета. Ул. Жуковского, 64, Запорожье, 69063, Украина. E-mail: polyakov@zntu.edu.ua , тел.: +38-093-074-09-63

**Mykhailo Poliakov**, PhD, Associate professor, Professor of Electrical and Electronics Apparatuses Department of Zaporizhzhia National Technical University, Zaporizhzhia National Technical University, 64 Zhukovskogo str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine. E-mail: polyakov@zntu.edu.ua , phone: +38-093-074-09-63.

**ORCID ID:** 0000-0002-7772-3122.