

14. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. М.: Прогресс, 1969. С. 23–82.

15. Бауэр Э. Теоретическая биология. М. Л.: Изд. ВИЭМ, 1935. 206 с.

16. Волкова В.Н., Логинова А.В., Леонова А.Е., Черный Ю.Ю. Подход к сравнительному анализу и выбору технологических инноваций третьей и четвертой промышленных революций // Сборник докладов XXI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). 23–25 мая 2018 г., Санкт-Петербург. В 2-х т. Т. 2. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 373-376.

17. Волкова В.Н., Кудрявцева А.С. Модели для управления инновационной деятельностью промышленного предприятия [Электронный ресурс.] // Открытое образование. 2018. 22(4). С. 64-73. URL: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-4-64-73> (дата обращения: 06.06.2020).

18. Кузин Е.С. Представление знаний и решение информационно-сложных задач в компьютерных системах: монография. М.: Новые технологии, 2004. 32 с.

19. Zinder E.Z. Values-directed enterprise engineering // Business Informatics. 2018. № 3 (45). P. 7–19.

УДК 591.711

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-258

Катермина Татьяна Сергеевна,
канд. техн. наук, доцент

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ
ЛИНГВО-КОМБИНАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
М. Б. ИГНАТЬЕВА**

Нижевартовский государственный университет,
Нижевартовск, Россия,
nggu-lib@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена основам теории лингво-комбинаторного моделирования, метода избыточных переменных профессора Михаила Борисовича Игнатъева, ушедшего из жизни в 2019 году.

Ключевые слова: сложные системы, лингво-комбинаторное моделирование, управление, избыточность, прогнозирование.

Tatiana S. Katermina,
Candidate of Technical Sciences, Associate professor

**BASIC PROVISIONS OF M. B. IGNATIEV'S LINGUO-
COMBINATORY MODELING THEORY**

Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia,
nggu-lib@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the basics of the theory of linguo-combinatorial modeling, the method of redundant variables of the professor Michail B. Ignatiev.

Keywords: complex systems, linguistic-combinatorial modeling, control, redundancy, forecasting.

Введение

Представление о сложных системах складывается на основе анализа таких структур как город, который является сложной самоорганизующейся системой, и для которой стоит задача организовать поддержку принимаемых решений для городских властей для ближнесрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективы развития города. В качестве примера другой сложной системы можно привести организм



человека, для эффективного лечения которого необходимо построить его модель, чтобы уменьшить количество врачебных ошибок. Можно рассматривать множество и других сложных систем, и их изучение и моделирование, в исследовании которых может помочь лингво-комбинаторный подход, разработанный Игнатьевым М.Б [1].

Михаил Борисович Игнатьев (1932–2019) – доктор технических наук, заслуженный профессор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, лауреат Государственной премии СССР и премии Президента России, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации (1993 г.), академик РАЕН. Председатель Санкт-Петербургского отделения Научного совета РАН по методологии искусственного интеллекта. Председатель Санкт-Петербургского отделения Российского Пагуошского комитета, член президиума Комитета с 2009 г.

Михаил Борисович внес вклад в развитие кибернетики, робототехники, информатики, информационных технологий, вычислительной техники (рекурсивные многопроцессорные ЭВМ), компьютерного моделирования, геофизики, теории автоматического управления, искусственного интеллекта; предложил новые направления, значимые для развития теории систем и системного анализа: принцип адаптивного максимума, артоника (искусство + информатика), концепция лингво-комбинаторного моделирования.

М.Б. Игнатьев – автор более 500 научных публикаций, в том числе около 20 монографий. Награжден медалью «Житель блокадного Ленинграда», медалью им. П.Л. Капицы «Автору научного открытия» и другими государственными и общественными наградами.

1. Анализ научных источников

Лишь для небольшого числа реальных систем имеются математические модели. Прежде всего, системы описываются с помощью естественного языка. Предлагается способ перехода от

описания на естественном языке к математическим уравнениям. Например, пусть имеется фраза:

$$Word_1 + Word_2 + Word_3. \quad (1)$$

В этой фразе обозначаются слова и только подразумевается смысл слов. Смысл в сложившейся структуре естественного языка не обозначается. Предлагается ввести понятие смысла в следующей форме:

$$Word_1 * Sense_1 + Word_2 * Sense_2 + Word_3 * Sense_3 = 0. \quad (2)$$

Будем обозначать слова как A_i от английского Appearance, а смыслы – как E_i от английского Essence. Тогда уравнение (2) может быть представлено как

$$A_1 * E_1 + A_2 * E_2 + A_3 * E_3 = 0. \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) являются моделями фразы (1). Лингво-комбинаторная модель является алгебраическим кольцом, и мы можем разрешить уравнение (3) либо относительно A_i , либо относительно E_i путем введения третьей группы переменных – произвольных коэффициентов U_s :

$$\begin{aligned} A_1 &= U_1 * E_2 + U_2 * E_3, \\ A_2 &= -U_1 * E_1 + U_3 * E_3, \\ A_3 &= -U_2 * E_1 - U_3 * E_2 \end{aligned} \quad (4)$$

или

$$\begin{aligned} E_1 &= U_1 * A_2 + U_2 * A_3, \\ E_2 &= -U_1 * A_1 + U_3 * A_3, \\ E_3 &= -U_2 * A_1 - U_3 * A_2, \end{aligned} \quad (5)$$

где U_1, U_2, U_3 – произвольные коэффициенты, которые можно использовать для решения различных задач на многообразии (3). В общем случае, если имеем n переменных и m многообразий, ограничений, то число произвольных коэффициентов S будет равно числу сочетаний из n по $m+1$ (табл. 1):

$$S = C_n^{m+1}, n > m. \quad (6)$$

Число произвольных коэффициентов является мерой неопределенности и адаптивности. Лингво-комбинаторное моделирование может опираться на анализ всего корпуса текстов на естественном языке, это трудоемкая задача по извлечению смыслов для суперкомпьютеров, его можно также использовать, опираясь на

ключевые слова в конкретной области, что позволяет получать новые модели для конкретных областей знания. В этом случае лингво-комбинаторное моделирование заключается в том, что в конкретной предметной области выделяются ключевые слова, которые объединяются во фразы типа (1), на основе которых строятся эквивалентные системы уравнений с произвольными коэффициентами. В частном случае они могут быть дифференциальными уравнениями, и при их исследовании может быть использован хорошо разработанный математический аппарат. Лингво-комбинаторное моделирование включает все комбинации и все варианты решений и является полезным эвристическим приемом при изучении плохо формализованных систем [2].

Таблица 1

Число неопределенных коэффициентов

n / m	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1							
3	3	1						
4	6	4	1					
5	10	10	5	1				
6	15	20	15	6	1			
7	21	35	35	21	7	1		
8	28	56	70	56	28	8	1	
9	36	84	126	126	84	36	9	1

2. Адаптационные возможности сложных систем

В структуре эквивалентных уравнений систем со структурированной неопределенностью есть произвольные коэффициенты, которые можно использовать для приспособления системы к различным изменениям, чтобы повысить точность и надежность функционирования систем, их живучесть в потоке перемен.

Может меняться число ключевых слов и количество ограничений типа (7), но структура эквивалентных уравнений типа (8) сохранится, будет меняться количество произвольных коэффициентов и матрица их распределения в этих уравнениях. Таким образом можно регулировать неопределенность в структуре эквивалентных уравнений.

В результате взаимодействия с окружающей средой, система эволюционирует так, как это показано на рисунке 1.

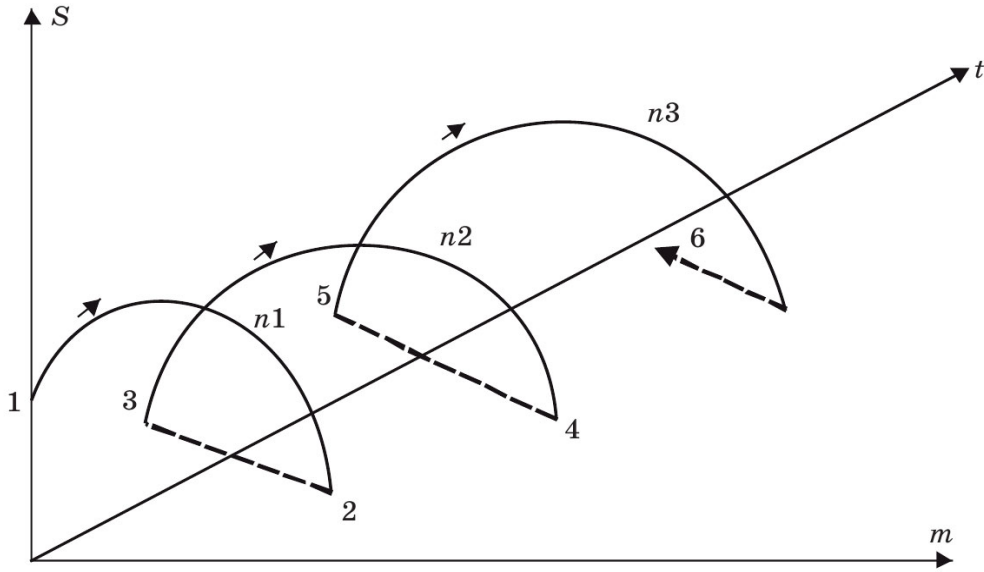


Рис. 1. Трансформация развивающейся системы, траектория системы: 1-2-3-4-5-6..., сплошной линией показаны эволюционные процессы, пунктирной — креативные.

3. Метод избыточных переменных

Метод избыточных переменных позволяет вводить избыточность на уровне исходной задачи, что открывает возможность наложить дополнительные ограничения на переменные расширенной системы, которые можно использовать в качестве контрольных условий. Например, если требуется решить дифференциальные уравнения:

$$\frac{dX}{dt} = F_1(X, Y), \quad \frac{dY}{dt} = F_2(X, Y), \quad (9)$$

то можно ввести новую, третью переменную в эту задачу

$$X = \sum a_i * x_i, \quad Y = \sum b_i * x_i, \quad i = 1, 2, 3, \quad (10)$$

и на расширенную систему наложить дополнительное ограничение, например такое:

$$F_3(x_1, x_2, x_3) = 0, \quad (11)$$

которое можно использовать в качестве контрольного условия – если оно нарушается, то сигнал ошибки можно использовать для коррекции системы.

Схема вычислительного процесса с контролем и коррекцией по методу избыточных переменных изображена на рисунке 3. В контрольном органе (КО) проверяется выполнение контрольного условия. Сигнал ошибки, полученный на выходе контрольного органа, может быть использован для коррекции вычислительного процесса с помощью обратной связи (пунктирная линия I на рис. 2) или с помощью коррекции вперед (пунктирная линия II на рис. 2). В блоке УС –

устройство сжатия – осуществляется преобразование от избыточных переменных обратно к исходным. Блок ВУ – вычислительное устройство.

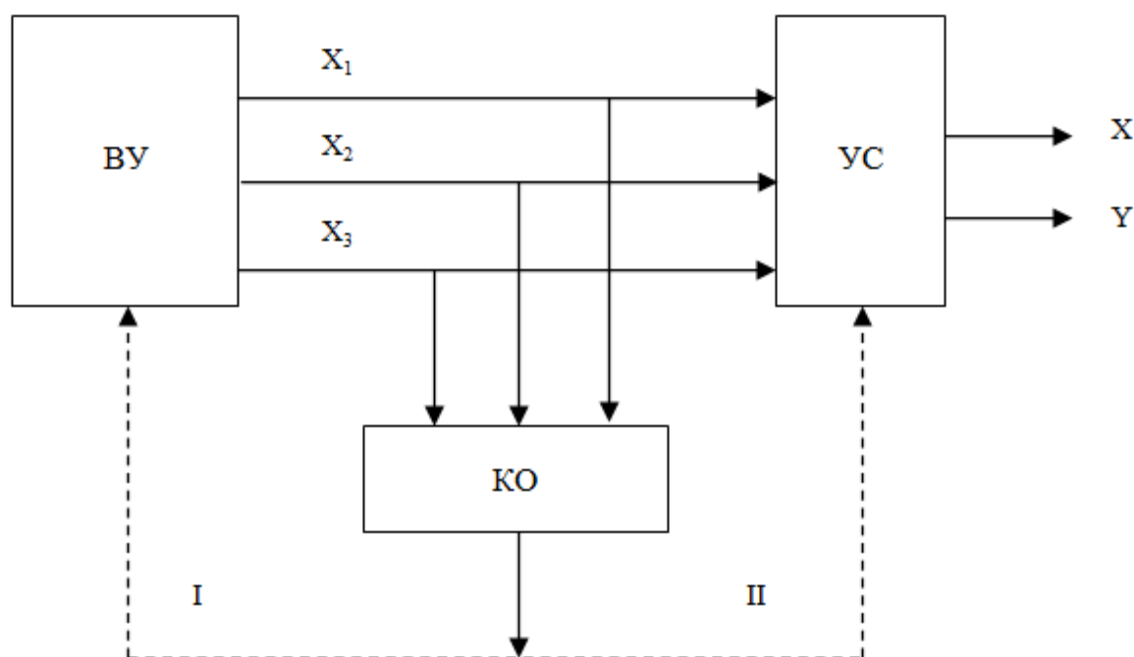


Рис. 2. Схема вычислительного процесса с коррекцией

Аналогичным образом можно вводить избыточность в различные системы, накладывая контрольные условия и строить цепи коррекции.

При решении дифференциальных уравнений на вычислительных машинах возможны нарушения, во-первых, в начальных условиях, во-вторых, в правых частях уравнений, в-третьих, в самом операторе дифференцирования. И если в идеальной системе должна решаться система уравнений

$$\frac{dy_i}{dt} = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n, t), \quad y_i(0) = y_{i0}, \quad (12)$$

то реально будет решаться система

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{y}_i}{dt} &= f_i(\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_n, t) + A_i(\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n, t), \\ \tilde{y}_i(0) &= \tilde{y}_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (13)$$

где $A_i(\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n, t)$ – помехи, действующие на систему дифференциальных уравнений.

Нарушения в операторе дифференцирования также сводятся к аддитивной добавке аналогичного вида в правых частях реально решаемых систем уравнений [3, 4].

Суть метода избыточных переменных заключается в том, чтобы решать в вычислительном устройстве не исходную систему уравнений, а эквивалентную ей расширенную систему с неопределенными коэффициентами.

Введение избыточности позволяет не только организовать контроль, но также управлять вычислительным процессом как на основании априорных данных о помехах, так и на основании текущего контроля процесса в реальном времени [5].

5. Выводы

В своих научных исследованиях М.Б. Игнатъев предложил инструментарий создания математических моделей слабо формализованных систем, а также инструментарий манипулирования этими моделями, управления ими. Полученные М.Б. Игнатьевым теоретические результаты позволяют задавать вектор развития сложных систем, корректировать, контролировать и диагностировать работу сложных систем, производить прогнозирование.

Список литературы

1. Игнатъев М.Б. Кибернетическая картина мира. Теория сложных систем: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 230000 «Информатика и вычислительная техника». СПб. Изд-во ГУАП, 2011. 447 с.

2. Игнатъев М.Б., Катермина Т.С. Системный анализ задач прогнозирования и планирования развития сложных структур: лингво-комбинаторный подход // Сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. СПб.: Издательство Политехнического ун-та, 2018. С. 115–118.

3. Игнатъев М.Б., Катермина Т.С. Системный анализ проблемы управления хаосом // Сб. науч. тр. XX Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». Часть 1. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 129–136.

4. Ignatyev M.B., Katermina T.S. Chaos control and uncertainty // Proceedings of the 19th international conference on soft computing and measurements (SCM 2016), Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. P. 449–452.

5. Игнатъев М.Б. Теория сложных систем и кибернетическая картина мира // Информатика и ее применения. М.: Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, 2011. С. 58–68.