Системный анализ

УДК 519.68:681.51

ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТАМАТЕМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУР В НАУКЕ

С. М. Крылов

Самарский государственный технический университет,
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

E-mail: s_m_krylov@mail.ru

Рассматриваются и сравниваются различные варианты интерпретации метаматематических структур, основанных на базовой концепции алгебраической системы в математике, позволяющие распространить их на алгоритмические системы над физическими объектами как с учётом возможного физического взаимодействия последних, так и без него. Показано, что такие расширенные метаматематические структуры целесообразно использовать как в теории эволюционных систем (в так называемой «метабиологии»), так и в современной научной версии метафизики, включая её аксиоматику. Исходное формальное представление, аксиоматика и интерпретация таких систем существенно отличаются от традиционного формального представления, аксиоматики и интерпретации алгебраических систем в математике.

Ключевые слова: *алгебраические системы, алгоритмы над физическими объектами, общая теория систем, формальная технология, свойства объектов, функциональности объектов, аксиомы метафизики, эволюционные системы.*

Приставка «мета-» в русском научном языке воспринимается как указание на нечто, превосходящее исходное понятие. В этом контексте смысл термина «метаматематика» обычно понимается, как «над-математика» или «сверх-математика», изучающая саму себя с использованием математических методов. Примерно так трактуется и суть данного термина в одной из фундаментальных работ Клини, посвящённой основаниям метаматематики [1]. Тем не менее в последнее время всё чаще говорят о необходимости разработки некоей новой версии математики, получившей название «теории исчисления объектов» [2,3], в которой объектами математико-подобных алгоритмических операций служат не абстрактные объекты-символы, как мы это привыкли делать в классической математике, а более или менее адекватные реальным физические объекты, точнее — их более адекватные реальным (вещественным) объектам математические модели [3–5]. При такой постановке задачи максимального расширения базовых концепций математики под метаматематическими структурами имеет смысл понимать и такие метаматематические конструкции, которые оказываются применимы не только к классическим математическим объектам-символам, но и к объектам иной, так сказать, квазиматериальной природы, в нашем случае — к объектам-моделям реальных

Сергей Михайлович Крылов (д.т.н. проф.), профессор, каф. вычислительной техники.

физических объектов. Сравнительному анализу возможностей и перспектив подобных метаматематических структур и посвящена настоящая статья.

К таким метаматематическим конструкциям, как показано в работах [4, 5], можно с полным основанием отнести концепцию алгебраической системы $\mathbf{U}$, которая, согласно классику советской математической школы А. И. Мальцеву, формально записывается следующим образом [6]:

$$\mathbf{U} = \langle \boldsymbol{A}, \Omega_F, \Omega_P \rangle, \tag{1}$$

где $\boldsymbol{A}$ — основное множество системы; Ω_F — множество операций, определённых на $\boldsymbol{A}$; Ω_P — множество предикатов, заданных на множестве $\boldsymbol{A}$.

В то же время в новом междисциплинарном научном направлении общей теории систем (ОТС), получившем название «Общая формальная технология» (ОФТ), аналогичные по сути алгоритмические системы (называемые «технологиями») над физическими объектами (точнее, как уже отмечалось раньше, над их «квазиматериальными» моделями) записываются весьма похожим образом [4, 5]:

$$\mathbf{T} = \langle \mathbf{B}, \mathbf{F}_T, \mathbf{F}_A \rangle, \tag{2}$$

где $\mathbf{B}$ — множество некоторых физических объектов материальной природы (атомов, молекул, деталей станка, компонентов какого-либо устройства, фрагментов здания, и т. д., и т. п.), являющихся исходными и конечными объектами-результатами операций множества $\mathbf{F}_T$. Такие объекты обычно называют «конструкциями»; а множества $\mathbf{F}_T$ и $\mathbf{F}_A$ — это конечные множества конечноместных технологических (типа синтеза и декомпозиции) и аналитических операций над объектами («конструкциями») из $\mathbf{B}$, причём ни одна из операций в $\mathbf{F}_T$ и $\mathbf{F}_A$ не может быть выражена через другие. Аналитические операции $\mathbf{F}_A$, в отличие от предикатов множества Ω_P, «измеряют» различные физические свойства объектов («конструкций») из $\mathbf{B}$, которые могут иметь отображение на любую конечную числовую или нечисловую шкалу [4, 5].

В общем случае любой объект O_i множества $\mathbf{B}$ может быть формально представлен следующим образом:

$$O_i = \langle \mathbf{\Gamma}_i, \mathbf{M}_i \rangle = \langle \{\gamma_{i1}, \gamma_{i2}, \ldots, \gamma_{in}\}, \{\gamma_{ij} = \varphi_{ij}(\gamma_{sk}, \gamma_{sm}, \ldots, \gamma_{il}); \ldots\} \rangle; \tag{3}$$

где O_i — i-тый физический объект; $\mathbf{\Gamma}_i$ — список интересующих нас его физических свойств (параметров) γ_{ik}, характеризующих объект O_i по важным для нас признакам — по его положению в пространстве, по его массе, скорости и т. д. и т. п.; $\mathbf{M}_i$ — список интересующих нас функциональностей φ_{ij} объекта O_i, описывающих его взаимодействие с другими физическими объектами через их физические свойства типа γ_{sk}, γ_{sm}, …, и (или) собственные физические свойства самого объекта O_i типа γ_{il} (соответствующие функциональности могут быть записаны в любой удобной форме — в виде функций, физических законов, алгоритмических процедур и т. д.); n — число параметров («свойств») типа γ_{ik}, используемых в данном представлении объекта O_i, т. е. число вторых индексов свойств объекта $O_i : j, l \in \{1, \ldots, n\}$; k, m — номера (вторые индексы) тех «свойств» и функциональностей, которые актуальны для анализа функциональных взаимодействий φ_{ij} данного объекта O_i (в текущем его представлении) с соседними (или удалёнными — если речь идёт о взаимодействии, например, через поле) объектами типа O_s. Подчеркнём, что функциональных зависимостей φ_{ij} в списке функциональностей $\mathbf{M}_i$ объекта O_i может быть столько, сколько нужно для его адекватного представления в рамках интересующей нас модели, на что указывает многоточие после формулы φ_{ij} для расчёта параметров γ_{ij}. Однако всегда в конечном формальном представлении любого объекта типа O_i это число конечно [3, 4]. Заметим, что формула (3) очень близка к базовой парадигме чрезвычайно успешной прикладной ветви современной вычислительной математики, связанной с алгоритмизацией и решением самых различных прикладных задач — от математического (компьютерного) моделирования до управления сверхсложными техническими, технологическими и даже социальными системами. Эта парадигма называется *объектно-ориентированным программированием* (ООП).

В [3–5] показано, что в аналогичной (3) нотации представление любых абстрактных математических объектов может быть записано следующим образом:

$$x = \langle \xi \rangle, \tag{4}$$

где символ ξ целесообразно трактовать как некоторый числовой параметр, *определяющий конкретное значение нефизического свойства* (*представляющего количество*) в конкретном *абстрактном математическом объекте* x.

Вследствие нефизичности свойства ξ *какие бы то ни было функциональности у абстрактных математических объектов типа* (4) *отсутствуют.*

Для простоты и наглядности лучше всего считать $\xi = x$, что часто и имеет место на самом деле. Другим характерным примером неявного использования представления (4) в математике служит возможность кодирования любой конечной последовательности кодов (символов), описывающих (представляющих) объект x, с помощью функции Гёделя в виде одного, пусть и очень большого, числа [4], т. е. угловые скобки $\langle, \rangle$, символ ξ и знак равенства потребовались лишь для того, чтобы специально подчеркнуть то *очень важное* обстоятельство, что числа (и коды) представляют собой особую группу абстрактных математических объектов, имеющих одно, **нефизическое** (а потому, подчеркнём ещё раз, **нефункциональное**), свойство ξ. Заметим, что на отсутствие физических свойств у чисел указывал ещё Аристотель в девятой главе первой книги своей «Метафизики» [7].

Как ни удивительно, но идее применения ключевых алгоритмических конструкций и операций к окружающим нас физическим объектам столько же лет, сколько и самой метафизике. На это обращал внимание и сам Аристотель в восьмой главе первой книги своего знаменитого труда, касаясь роли таких важных технологических (алгоритмических) операций над объектами, как операции их синтеза («соединения») и декомпозиции («разделения») [7], хотя самого понятия алгоритма в те времена, конечно же, не существовало.

В более строгом, приближающемся к нашему пониманию, виде похожие мысли высказала в середине XIX века Августа Ада Лавлейс [4, 5, 8].

Фундаментальную роль концепции алгоритмов в системе наших знаний признают и сами математики [9]. Многие даже считают основной предпосылкой для выработки этой концепции как раз наблюдения над различными природными процессами [10]. Более того, как уже говорилось, часто речь заходит о необходимости создания некоей формальной теории «исчисления объектов» — наподобие той, с какой мы имеем дело в вычислительной математике. При этом подчёркивается, что природа, в отличие от нас, использует в своих алгоритмических «вычислениях» физические объекты напрямую, но никогда — через их числовое представление (описание) типа (4), как мы это привыкли делать в математике [2]. Попытка построить именно такую, алгоритмическую теорию «исчисления физических объектов», предпринята в ряде работ, включая [3–5].

Что же в итоге даёт и может дать подобный подход?

Во-первых, сразу же становится очевидным, что в случаях интерпретации метаматематической структуры (2) в виде (1), а формального представления объектов её операций типа (3) в виде (4), мы имеем дело с традиционной математикой (с соответствующими наборами аксиом) [4]. Колоссальные успехи современной математики неоспоримы.

Во-вторых, если метаматематическая структура (2) интерпретируется в полном соответствии со своим, приведённым выше, определением, а объекты её операций интерпретируются в полном соответствии с (3) и (4), то мы имеем дело с новым направлением ОТС, названным «Общая формальная технология» (ОФТ) [3, 5], которое позволяет сравнивать потенциальные возможности различных технологий, включая технологию $\mathbf{T}_{\text{ВМ}}$ вычислительной математики, когнитивно-интеллектуальные технологии $\mathbf{T}_{\text{КИТ}}$, используемые в процессах познания человеком, и различные другие варианты технологий, в частности, биоподобные (или эволюционные) технологии $\mathbf{T}_{\text{ЭТ}}$, используемые природой в эволюционных процессах [5]. Следуя традициям оценки потенциальных вычислительных возможностей машины Тьюринга (м.Т.), такие возможности различных технологий можно было бы условно назвать их «мощностью». Договоримся обозначать это понятие прямыми скобками $|\ldots|$. Тогда, согласно последним результатам, полученным в рамках ОФТ [5], соотношение «мощностей» указанных выше технологий можно записать следующим образом:

$$|\mathbf{T}_{\text{ВМ}}| < |\mathbf{T}_{\text{ЭТ}}| \approx |\mathbf{T}_{\text{КИТ}}|, \tag{5}$$

причём строгое неравенство между двумя первыми компонентами доказывается математически и связано не только с различными мощностями множеств, используемых при математическом описании свойств и функциональностей соответствующих объектов в форме (3), как это сделано, например, в [5, 11], но и с возможностью эффективного использования этими объектами (или субъектами, например, человеком) операций анализа с неизвестными алгоритмами функционирования — наподобие оракулов в вычислительных алгоритмах. Поскольку оракулы, введённые в теорию алгоритмов ещё Тьюрингом, не имеют математической интерпретации в классе частично-рекурсивных функций (ЧРФ), то и соответствующие алгоритмы с оракулами оказываются по этой причине неразрешимыми в системе ЧРФ [5, 12].

Что касается приближённого равенства между двумя последними компонентами в (5), то, строго говоря, на данный момент такая форма записи отношений между ними связана *только* с недостаточным фактическим материалом, накопленным к настоящему времени о действительном состоянии дел. С точки зрения базовых концепций, это приближённое равенство очень сильно тяготеет к строгому, поскольку технологии, используемые живой природой в ходе реализации эволюционных процессов, и технологии, используемые человеком в процессах познания им окружающего мира, одинаковы по своей сути [5].

Соотношение (5) существенно отличается от аналогичного соотношения, приведённого Г. Чайтиным (G. Chaitin) на стр. 5 в его последней книге, посвящённой так называемой «метабиологии» (фактически, теоретической математической биологии) [13]. С использованием приведённых выше обозначений указанное соотношение Чайтина можно записать так:

$$|\mathbf{T}_{\text{ВМ}}| = |\mathbf{T}_{\text{ЭТ}}|. \tag{6}$$

Заметим попутно, что помимо приведённых выше мотиваций, исходя лишь из формального представления (4) объектов в математике, и (3) — в ОФТ и ООП, равенство (6) недопустимо само по себе, поскольку неэквивалентны сами объекты операций как по своей формальной структуре, так и по внутреннему смыслу используемых в этих структурах компонент. (Ещё раз напомним, что в записи (3) предполагаются, в том числе, и физические свойства объектов операций, а в записи (4) — только числовые.) Если данное замечание покажется читателю спорным, то можно обратиться к более строгим основаниям, связанным с математическими доказательствами, упомянутыми выше и приведёнными в ряде работ [5, 11, 14, 15].

Возвращаясь к перечислению перспектив и возможностей соответствующих метаматематических структур, отметим, в-третьих, что мы можем оставить обычную интерпретацию структуры (2), но объекты её операций типа O_i представлять следующим образом:

$$O_i = \langle \mathbf{\Gamma}_i \rangle = \langle \{\gamma_{i1}, \gamma_{i2}, \dots, \gamma_{in}\} \rangle, \tag{7}$$

т. е. рассматривать *только физические* свойства объектов, а множество функциональностей, вызывающих то или иное поведение самих объектов (в соответствии с их физическими свойствами), игнорировать.

В этой интерпретации мы имеем дело с каноническим (первоначальным) вариантом задания формальных технологий как алгоритмических систем над физическими или абстрактными объектами [3, 5], включая формальные модели таких объектов в усечённом по сравнению с (3) виде (7). Однако даже в этом случае легко доказывается существование иерархий в классе универсальных программируемых технологических систем, эквивалентных по своим вычислительным возможностям м.Т., но не эквивалентных друг другу по своим потенциальным технологическим (точнее даже — алгоритмическим) возможностям [5, 11, 14].

В таких метаматематических структурах легко строятся модели универсальных (со строгой, математической, точки зрения) программируемых технологических систем примерно на тех же формальных базовых принципах, что и м.Т. [5]. В свою очередь, эти модели позволяют использовать их в качестве базовых при построении практических универсальных программируемых технологических систем в самых различных областях: от нанотехнологий до химии и машиностроения и от различных компактных ГАП до гибких интернет-лабораторий, предназначенных для проведения самых различных экспериментов с широкими возможностями их дистанционной реконфигурации и программирования [5, 16, 17]. Одна из таких интернет-лабораторий с теоретически неограниченным потенциалом реконфигурирования и программирования дистанционного выполнения различных экспериментов в области электроники разработана и используется на кафедре «Вычислительная техника» СамГТУ [16].

Если мы по-прежнему интерпретируем структуру (2) в соответствии с её определением, но под объектами в форме (3) понимаем исключительно физические объекты (или по крайней мере их более или менее адекватные «квазиматериальные» модели), то мы имеем дело со строгой математической («научной») версией метафизики с подходящим множеством аксиом, один из вариантов которых предложен в работе [4].

Помимо того, что данная интерпретация возрождает древнюю идею о метафизике как о строгой науке, логически объясняющей устройство, происхождение и взаимодействие «вещей» окружающего нас мира, она позволяет по-новому взглянуть и на некоторые хорошо известные математические идеи, не нашедшие до недавнего времени подтверждения в рамках классической математики. В частности, идеи Колмогорова и Чайтина о важности концепций математической теории сложности объектов и алгоритмов в эволюционных процессах [18].

Действительно, если в рамках этой интерпретации рассмотреть структуру сравнительно простых линейных конструкций, содержащих n объектов типа (3), то при выполнении некоторых, достаточно простых условий оказывается, что и энтропия $\mathbf{H}$, и потенциальная функциональность $\mathbf{\Phi}$, и закодированная в такой конструкции информация $\mathbf{I}$ могут описываться практически одной и той же формулой:

$$\mathbf{\Phi} = \mathbf{H} = \mathbf{I} = k \log_2 s, \tag{8}$$

где k — число объектов типа (3) в конструкции, s — некоторый системный параметр (константа для заданного типа технологии $\mathbf{T}$), учитывающий не только число r различных типов объектов в конструкции, но и возможное число функциональных состояний каждого такого объекта [5,19]. Для случая отсутствия функциональных состояний у всех k объектов $\mathbf{\Phi} = 0$ и выражение (8) применимо только для расчёта $\mathbf{H}$ и $\mathbf{I}$.

Нетрудно видеть, что величина $\mathbf{\Phi}$ в (8) растёт с ростом числа функциональных объектов в конструкции и неизбежно достигает такого значения, что оказывается достаточной для реализации функциональной сложности процесса собственного воспроизведения [5]. К сожалению, Г. Чайтину в работе [18] не удалось уловить этот тонкий момент обнуления величины $\mathbf{\Phi}$ при отсутствии функциональностей у объектов, образующих линейную конструкцию, хотя для строк символов в (классической) математической теории сложности этот факт очевиден.

Кроме того, если мы интерпретируем объекты операций исключительно в виде (3), то, во-первых, для них легко вводятся формальные определения эмерджентных свойств и эмерджентных функциональностей [5], во-вторых, так же легко вводятся определения гомогенных и гетерогенных объектов [5,20–22], на основе которых может быть разработана теория гетерогенных автоматов [5,21,22] и теория гетерогенных электронных схем [5,22], уже нашедшая практическое применение [5]. Наконец, в-третьих, при определённых дополнительных условиях или требованиях выражение (2) для некоторых вариантов технологий оказывается избыточным. Последнее выполняется для так называемых «эволюционных технологий» (ЭТ). Согласно определению, приведённому в [3,5] и ряде других работ, «технология называется эволюционной, если в ней возможно получение бесконечного числа новых конструкций (объектов), отличных от полученных ранее, причём и получение таких новых конструкций, и их отличие от полученных ранее реализуются исключительно средствами самой технологии ...» [5], т. е. за счёт собственных функциональностей самих элементов множества $\mathbf{B}$ в варианте интерпретации (3). Заметим, что обоснованию этого определения ЭТ в работе [5] уделено достаточно много места. Более того, ряд последующих результатов, касающихся возможных моделей ЭТ, подтверждает правомочность и эффективность такого определения.

Что же фактически означает данное определение? Ответ очевиден: и множество $\Omega_F(\mathbf{F}_\mathrm{T})$, и множество $\Omega_P(\mathbf{F}_\mathrm{A})$, согласно ему, должны быть пустыми, т. е. любая ЭТ (которую мы обозначили как $\mathbf{T}_{\text{ЭТ}}$) может быть записана в форме, отличной и от (1), и от (2):

$$\mathbf{T}_{\text{ЭТ}} = \langle \mathbf{B} \rangle. \tag{9}$$

Заметим при этом, что сами объекты множества $\mathbf{B}$ в (9) должны обязательно отвечать выражению (3), что, кстати, вполне соответствует формальному представлению свойств и функциональностей отдельных «клеток» в теории «клеточных самовоспроизводящихся автоматов» фон Неймана [5, 23].

Как ни парадоксально, запись ЭТ в форме (9) соответствует и нашему внутреннему интуитивно-логическому представлению о возможных формальных записях исходных структур для известной нам эволюционной биотехнологии. Действительно, общим местом считается представление начала нашей земной биоэволюции в виде некоего «первичного бульона», в котором хаотически плавают фрагменты различных биомолекул, в ходе своего взаимодействия порождающие сначала собственное самовоспроизведение, а затем, в результате дальнейшей эволюции, тот феномен, который мы и называем «жизнь».

В работе [23] фон Нейман определил два типа функциональностей для своих клеток, необходимых для обеспечения самовоспроизведения состоящих из них автоматов: логическую и конструктивную. В работе [5] аналогичный анализ необходимого набора свойств и функциональностей для самовоспроизводящихся физических объектов ЭТ (фактически для «биологических», или по крайней мере «биоподобных» организмов), выполненный с использованием формально-технологического (по сути, метаматематического) аппарата, позволил уточнить этот список. Оказалось, что помимо указанных выше двух типов функциональностей в состав функциональностей базовых элементарных конструкций — объектов эволюционной технологии (аналогов «клеток» в технологии фон Неймана) должны входить ещё и так называемые «динамические» функциональности, обеспечивающие перемещения объектов друг к другу с целью образования более сложных конструкций, их изменения и анализа, а также «энергетические» — для обеспечения всех процессов энергией [5]. Без этих двух типов функциональностей полноценность ЭТ оказывается весьма сомнительной. Точнее, возможность определения в ней средствами самой ЭТ новизны вновь синтезируемых конструкций практически отсутствует.

Кроме того, размерность пространства для реализации в нём ЭТ, как выяснилось, должна быть не меньше 2-х, а ещё лучше 3-х измерений [5], что совпадает с аналогичным результатом Хокинга, полученного с использованием чисто физических концепций [24].

Возможные интерпретации формальных представлений метаматематических структур в виде (2) и (3) не ограничиваются только рассмотренными выше случаями. Достаточно очевидны различные варианты комплексных (математических) исчислений, заданных в виде (1), в которых формальная запись объектов типа (4) содержит не один числовой параметр, а несколько — два, три и т. д., т. е. любое конечное их число.

Весьма интересно было бы исследовать также и свойства метаматематических (точнее, с учётом вышесказанного, метафизических) структур вида (2), в которых число типов функциональностей объектов, отвечающих формуле (3), было бы ограничено определённым конечным их числом, т. е. в них участвовал бы конечный набор *конкретных* «физических» (или «квазифизических») свойств. Частично такой анализ начат в третьей и седьмой главах работы [5].

Заключение. Возвращаясь к центральной теме данной статьи, а именно — к анализу перспектив метаматематических структур на основе концепции алгоритмов, трудно не согласиться с метафорическим высказыванием того же Г. Чайтина о важности факта изобретения компьютеров для нашей науки: «Компьютер был изобретен для того, чтобы прояснить вопросы относительно оснований математики» [18].

Действительно, наиболее успешное на сегодняшний день в практическом плане направление программирования — объектно-ориентированное (ООП) — декларирует представление любых объектов в компьютерных программах, очень близкое к тому, как это сделано в (3). Данный факт лишний раз подчёркивает актуальность и целесообразность использования метаматематических структур типа (2) и (3) при анализе самых различных вопросов в теории систем.

Подводя итоги нашего обсуждения, можно констатировать, что общая формальная технология, как новое направление междисциплинарных исследований, базируется на принципах, весьма близких к фундаментальным метаматематическим конструкциям и структурам. Однако более значительный охват ею предполагаемых объектов исследований, в первую очередь — возможность конструировать и анализировать алгоритмы над абстрактными и *реальными* объектами, делает её весьма подходящим кандидатом на роль базового формального метаматематического аппарата для исследования самых различных научных проблем, включая строгую математическую (научную) версию метафизики, процессы эволюции и многие, многие другие актуальные задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *S. C. Kleene*, Introduction to metamathematics / Bibliotheca Mathematica. Vol. 1. Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 1952. x+550 pp.; русск. пер.: *С. К. Клини*, Введение в метаматематику. М.: Книжный дом «Либраком», 2009. 528 с.
2. *W. Fontana, L. W. Buss*, “The barrier of objects: From dynamical systems to bounded organizations” / In: *Boundaries and Barriers*; ed. J. Casti and A. Karlqvist. Reading MA: Addison-Wesley, 1996. Pp. 56–116.
3. *С. М. Крылов*, “Общая формальная технология и алгоритмическая «Теория исчисления объектов»” / В сб.: *Компьютерные технологии в науке, практике и образо-*

вании: Тр. одиннадцатой Междунар. межвуз. науч.-практ. конф.. Самара: СамГТУ, 2012. С. 27–30. [*S. M. Krylov*, “General formal technology and algorithmic theory of objects calculus” / In: *Computer Technologies in Science, Practice, and Education.* Samara: Samara State Technical Univ., 2012. Pp. 27–30].

4. *С. М. Крылов*, “Математические основы научной метафизики” // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2012. № 1(26). С. 233–242. [*S. M. Krylov*, “Mathematical foundations of metaphysics” // *Vestn. Samar. Gos. Tekhn. Univ. Ser. Fiz.-Mat. Nauki*, 2012. Vol. 1(26). Pp. 233–242].
5. *С. М. Крылов*, Онтология мета-науки. Аксиомы, технологии, алгоримы, эволюция. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publ., 2012. 408 с. [*S. M. Krylov*, Ontology of Meta-Science. Axioms, Technologies, Algorithms, Evolution (in Russian). Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publ., 2012. 408 pp.]
6. *А. И. Мальцев*, Алгебраические системы. М.: Наука, 1970. 392 с.; англ. пер.: *A. I. Malcev*, Algebraic Systems. Berlin: Springer-Verlag, 1973. xii+317 pp.
7. *Аристотель*, Метафизика. Переводы. Комментарии. Толкования / ред. сост. и подготовка текстов С. И. Еремеев. СПб.: Алетейя, 2002. 832 с. [*Aristotle*, Metaphysics. Translations. Comments. interpretation / ed. entry by S. I.Eremeev. St. Petersburg: Aleteyya, 2002. 832 pp.]
8. *A. A. Lovelace*, “Notes by the Translator” / In: *Faster than Thought. A Symposium on Digital Computing Machines*; ed. B. V. Bowden. London, 1957. Pp. 362–408.
9. Алгоритмы в современной математике и её приложениях: Материалы международн. симпозиума (Ургенч, Узбекистан, 16-22 сент. 1979 г.). Новосибирск: СО АН СССР, 1982. 364 с. [Algorithms in Modern Mathematics and Its Applications. Novosibirsk: SO AN SSSR, 1982. 364 pp.]
10. *B. Jones*, “General System Theory and Algorithm Theory” // *Int. J. Gen. Syst.*, 1983. Vol. 9, no. 3. Pp. 157–160.
11. *С. М. Крылов*, “Модели универсальных дискретно-аналоговых машин на основе машины Тьюринга” // *Электронное моделирование*, 1982. № 3. С. 6–10. [*S. M. Krylov*, “Models of universal discrete-analog machines based on Turing machine” // *Elektronnoye modelirovaniye*, 1982. no. 3. Pp. 6–10].
12. *J. R. Shoenfield*, Degrees of unsolvability / North-Holland Mathematics Studies. Vol. 2. Amsterdam, London: Nort-Holland Publishing Comp.; New York: American Elsevier Publishing Comp., 1971. 111 pp.; русск. пер.: *Дж. Шенфилд*, Степени неразрешимости. М.: Наука, 1977. 192 с.
13. *G. J. Chaitin*, Proving Darwin. Making Biology Mathematical. New York: Pantheon Books, 2012. 124 pp.
14. *С. М. Крылов*, “Доказательство ограниченности действия тезиса Тьюринга—Черча на объектах с физическими свойствами” // *Вестн. Оренбург. гос. ун-та*, 2003. № 3. С. 102–105. [*S. M. Krylov*, “The proof of action boundedness for Turing–Church thesis on objects with physical properties” // *Vestn. Orenburg. Gos. Univ.*, 2003. no. 3. Pp. 102–105].
15. *J. B. Copeland*, “Hypercomputation” // *Minds Mach.*, 2002. Vol. 12, no. 4. Pp. 461–502.
16. *С. М. Крылов, В. Н. Толчев*, “Многофункциональные дистанционные лаборатории для проведения реальных лабораторных работ и экспериментов” // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Техн. науки*, 2011. № 1(29). С. 85–91. [*S. M. Krylov, V. N. Tolchev*, “Multifunction remote laboratories to carry out real laboratory work and experiments” // *Vestn. Samar. Gos. Tekhn. Univ. Ser. Tekhn. Nauki*, 2011. no. 1(29). Pp. 85–91].
17. *S. M. Krylov*, “Universal Programmable Completely Automated Factories-on-a-Chip” / In: *Proceedings of the 9^{th} International Conference on the Commercialization of Micro and Nano Systems COMS2004.* (Aug. 29 – Sept. 2, 2004). Edmonton, Alberta, Canada, MANCEF, Washington, 2004. Pp. 269–273.
18. *G. J. Chaitin*, “A Century of Controversy over the Foundations of Mathematics” / In: *Finite versus Infinite*; ed. C. Calude and G. Paun. London: Springer-Verlag, 2000. Pp. 75–100.

19. *С. М. Крылов*, “Взаимосвязь между энтропийным, структурным и функциональным описанием объектов и систем” // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2003. №19. С. 156–160. [*S. M. Krylov*, “The relationship between entropy, structural and functional description of objects and systems” // *Vestn. Samar. Gos. Tekhn. Univ. Ser. Fiz.-Mat. Nauki*, 2003. no. 19. Pp. 156–160].
20. *С. М. Крылов*, “Формально-технологические модели в общей теории систем” // *Изв. Самарск. научн. центра РАН*, 2003. Т. 5, №1. С. 83–90. [*S. M. Krylov*, “Formally-technological models in the general systems theory” // *Izv. Samarsk. Nauchn. Tsentra RAN*, 2003. Vol. 5, no. 1. Pp. 83–90].
21. *С. М. Крылов*, “Системный анализ гетерогенных слабоструктурированных автоматов. I. Основные определения и свойства” // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Техн. науки*, 2012. №1(33). С. 17–23. [*S. M. Krylov*, “System analysis of heterogeneous weakly-structured automata I. Basic definitions and behavior” // *Vestn. Samar. Gos. Tekhn. Univ. Ser. Tekhn. Nauki*, 2012. no. 1(33). Pp. 17–23].
22. *С. М. Крылов, Е. Н. Гребенщиков*, “Онтология проектирования гетерогенных электронных систем” // *Онтология проектирования*, 2012. №1. С. 65–72. [*S. M. Krylov, E. N. Grebenschikov*, “Ontology of heterogenious electronics systems design” // *Ontologiya proyektirovaniya*, 2012. no. 1. Pp. 65–72].
23. *J. von Neumann*, Theory of Self-Reproducing Automata / ed. A. W. Burks. Urbana, London: University of Illinois Press, 1966. xix+388 pp.; русск. пер.: *Дж. фон Нейман*, Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Мир, 1971. 284 с.
24. *S. W. Hawking*, The Theory of Everything: The Origin and Fate of the Universe. New York: New Millennium Press, 2002. 167 pp.

Поступила в редакцию 12/I/2013;
в окончательном варианте — 25/II/2013.

MSC: 03F50; 93A05

PROSPECTS OF METAMATHEMATICAL STRUCTURES IN SCIENCE

S. M. Krylov

Samara State Technical University,
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia.

E-mail: s_m_krylov@mail.ru

The paper deals with metamathematical structures based on Malcev's concept of algebraic systems. This approach allows us to extend this concept on systems of physical objects having physical interactions and without such interactions. It is shown, that these extended metamathematical structures can be used in rigorous (scientific) version of metaphysics including its axiomatic, as well as in the theory of evolutionary systems. The formal representation of the latter is differed from that of algebraic systems in mathematics.

Key words: *algebraic structures, algorithms on physical objects, general system theory, general formal technology, object properties, object functionalities, axiomatic of metaphysics, evolutionary systems.*

Original article submitted 12/I/2013;
revision submitted 25/II/2013.

Sergey M. Krylov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor, Dept. of Computer Science.