

## СИНЕРГЕТИКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

Г.Г.Малинецкий

*Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, г. Москва, Россия*  
(8499) 250-79-16, [gmalin@keldysh.ru](mailto:gmalin@keldysh.ru)

### **Синергетика и фундаментальные научные проблемы**

Одним из важнейших достижений науки Нового времени стала её отраслевая организация. Детальное исследование определённых объектов, явлений, процессов, узкая специализация исследователей позволили продвигаться гораздо быстрее, чем раньше. Многие научные дисциплины возникли на стыке нескольких областей знания. Появились узкие специалисты, которые «знают всё ни о чём».

Оборотной стороной этой тенденции и сверхспециализации стала «пропасть двух культур» (как назвал её британский писатель Чарльз Сноу). Первая культура – *естественнонаучная*, опирающаяся на наблюдения, опыт, формализованные теории, устремлённая в будущее и отвечающая на вопрос «Как?». Вторая – *гуманитарная* – во многом основанная на авторитете, традиции, обращённая в прошлое и отвечающая на вопрос «Что?». Растущая пропасть между двумя культурами, по мысли Ч.Сноу, стала большой опасностью и для науки как важного социального института, и для человечества, которое хотело бы на неё опираться уже в середине XX века.

Ответом на этот вызов стало развитие *теории самоорганизации* или *синергетики* (от греческого «совместное действие»), начавшееся в 1970-х годах во многом благодаря усилиям немецкого учёного Германа Хакена, бельгийского исследователя Ильи Романовича Пригожина (Нобелевская премия по химии 1977 года) и научной школе директора Института прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН Сергея Павловича Курдюмова [1, 2, 3].

Вводя термин «синергетика», Г.Хакен вкладывал в него два смысла. Во-первых, это теория, показывающая, как у целого возникают свойства или качества, которыми не обладают части. Во-вторых, это подход, развитие которого предполагает взаимодействие и совместную работу естественников, гуманитариев, математиков, а сейчас можно добавить, инженеров, технологов, руководителей, экспертов.

В настоящее время синергетика предстаёт как междисциплинарный подход, лежащий на пересечении сфер *предметного знания, математического моделирования и философской рефлексии*. По мнению академика В.С.Стёпина, именно синергетика в XXI веке станет ядром научной картины мира, позволит на новом уровне выработать научное мировоззрение [4].

Одной из фундаментальных научных задач является понимание самоорганизации, саморазвития, самоформирования мира, начиная с уровня Большого взрыва, рождения элементарных частиц, появления галактик и кончая возникновением человека, сознания, общества, истории.

Другая проблема связана с осмыслением глубинной природы необратимых процессов, возникновения стрелы времени и самой природы времени.

В настоящее время физики работают над теориями Великого Объединения, позволяющими с единых позиций рассматривать сильные, слабые, электромагнитные, взаимодействия. Однако сейчас на основе идей синергетики Роджером Пенроузом для объяснения феномена сознания предлагается теория Большого Синтеза. Эта теория ищет основы сознания на квантовомеханическом уровне, связывая их с так называемой объективной редукцией [5]. Эта впечатляющая теория после экспериментального подтверждения могла бы стать мостом, соединяющим естественные и многие гуманитарные дисциплины.

Синергетику сегодня часто рассматривают как *общую теорию неустойчивостей* в системах разной природы. И особенно интересны в этом контексте неустойчивости, обеспечивающие важнейшие биологические процессы, развитие биосферы, функционирование соз-

нения. В синергетике сейчас появились теории, обладающие такой большой общностью и рассматривающие столь разнородные явления. К таковым, в частности, относится *теория самоорганизованной критичности* [6].

Поле синергетических исследований является очень широким и продолжает стремительно расти. Об этом говорит издание 70 томов «Шпрингеровской серии по синергетике», вышедшей в 1980-е годы (председатель редколлегии серии Г.Хакен). С 2002 года издательством URSS выпускается серия книг «*Синергетика: от прошлого к будущему*» (председатель редколлегии Г.Г.Малинецкий), в которой к настоящему времени вышло более 60 книг на русском и испанском языках [7]. Синергетика стала одной из обязательных учебных дисциплин во многих ведущих университетах России, Европы, США, ряда азиатских стран [8-10].

Появились телепередачи, в которых развитие науки рассматриваются с междисциплинарных, синергетических позиций. Ранее таковой была передача выдающегося учёного и просветителя Сергея Петровича Капицы. В настоящее время – передача Анны Урманцевой «Мозговой штурм», выходящая на канале ТВЦ ([www.mozgovoyshturn.ru](http://www.mozgovoyshturn.ru)). Первые 40 лет развития синергетики показали, что она в полной мере оправдала возлагавшиеся на неё надежды.

### **Прикладная синергетика и развитие технологической платформы**

Главным содержанием переживаемой человечеством эпохи является *глобальный демографический переход*. Это очень резкое, на протяжении жизни одного поколения, изменение закона роста народонаселения, связанное с переходом от стратегии «высокая смертность – высокая рождаемость» к стратегии «низкая смертность – низкая рождаемость» [11]. Если в течение сотен тысяч лет, численность людей  $N$  в зависимости от времени  $t$  росла по гиперболическому закону  $N(t) \sim (t_f - t)^{-1}$ , где  $t_f \approx 2025$  год, то сейчас в течение десятилетий, этот закон «ломается» – скорость роста числа людей на планете быстро уменьшается.

Демографическому переходу с неизбежностью будет соответствовать и *глобальный технологический переход* [12]. Нынешние технологии позволяют поддерживать современный уровень потребления, в лучшем случае, в течение нескольких десятилетий. В настоящее время ежегодно извлекается такое количество углеводородов, на создание которого у природы уходило более миллиона лет. Каждая третья тонна нефти сейчас добывается на морском или океанском шельфе. С 1980 года прирост доказанных нефтяных запасов стал меньше добываемого ежегодно объёма нефти. Судя по модели Хабберта, пик добычи углеводородов человечеством уже пройден и виден конец «нефтяной эпохи».

По-видимому, ближайшие 40-50 лет в экономическом плане определятся становлением и развитием VI технологического уклада. Вероятно, локомотивными отраслями этого типа хозяйствования станут *биотехнологии, новое природопользование, нанотехнологии, новые медицина, робототехника, высокие гуманитарные технологии, полномасштабные технологии виртуальной реальности*. Будущее России определится тем, насколько успешной будет *новая индустриализация*, удастся ли стране, не имеющей промышленности, соответствующей V технологическому укладу, в течение 10-15 лет прорваться в VI укладу.

Основой для развития промышленности VI уклада является *технологическая платформа SCBIN* (Socio Cognito Bio Info Nano). Идеи, концепции и модели синергетики играют принципиальную роль в развитии этой платформы на двух уровнях.

Во множестве высоких технологий именно процессы самоорганизации являются ключевым элементом или главной надеждой. Зачастую, они могут преобразить и традиционные технологии, например, связанные с нефтедобычей, рециклингом отходов, управлением рисками природных и техногенных аварий, с формированием транспортной инфраструктуры.

На втором уровне ключевым элементом является *проектирование будущего* – анализ тех небольших изменений в сегодняшних решениях или процессах, которые могут существенно изменить будущее стран, регионов и цивилизаций в перспективе 20-30 лет. Одно из направлений синергетики – *математическая история* – ставит и решает подобные задачи. Принятие эффективных решений на государственном, региональном, отраслевом и корпора-

тивном уровне требует прогноза на 30 лет. И это становится всё более важной сферой междисциплинарного сотрудничества.

### **Синергетика и управление**

В какой области использование идей и представлений синергетики может сейчас дать наибольший эффект в Башкортостане? Безусловно, это сфера управления. В настоящее время республика столкнулась с необходимостью «новой индустриализации» - создания высокотехнологичных производств, позволяющих в наибольшей степени использовать высококвалифицированную рабочую силу. Это требует продуманной стратегии, эффективной политики и жесткого контроля исполнения принятых решений и используемых ресурсов. Процессы в социально-экономической сфере разворачиваются очень быстро. Во многих регионах, в т.ч. и в Башкирии, аппарат не успевает обрабатывать информационные потоки, требующие адекватной реакции. В результате необходимые решения откладываются, имеющиеся возможности упускаются, кадры оказываются перегруженными и используются не по назначению. Кроме того, возникает необходимость быстрой квалифицированной междисциплинарной экспертизы крупных проектов. Надо решить, то ли сосредоточиться на строительстве мусоросжигательного завода под Уфой, то ли на строительстве цеха по созданию легких вертолетов в Кумертау, то ли на возведении порта в городе Агидель. Стратегические ошибки являются самыми дорогими – их последствия не удастся исправить на более низких иерархических уровнях. Мы вновь и вновь пытаемся управлять «быстрыми» процессами, используя «медленную» управляющую систему.

Одним из ключевых понятий синергетики являются *параметры порядка* – ведущие переменные, которые с течением начинают определять ход основных процессов в сложной системе. Возникает необходимость выделить параметры порядка в социально-экономической и технологической системах региона и управлять именно ими. Возможность для этого дает человеко-машинная система, концепция которой была разработана в ИПМ, называемая *когнитивным центром* (см. рис.). В свое время большую роль в оперативном управлении сыграли ситуационные центры. Они позволили лицам, принимающим решения, предоставить информацию в наглядном виде, а также организовать быстро и эффективно «мозговой штурм» – всестороннее обсуждение различных сценариев происходящих событий и выработку решений.

Однако для того, чтобы заглядывать в будущее или эффективно действовать в кризисной ситуации всё чаще этого становится недостаточно. Когнитивные центры позволяют использовать систему математических моделей, отражающих наиболее важные характеристики и процессы в управляемой системе. Они дают возможность работать с большими информационными потоками, предсказывая на этой основе опасные или кризисные состояния объекта. Кроме того, когнитивные центры, использующие современные телекоммуникации, дают возможность привлекать экспертов, находящихся как в России, так и за ее пределами.

Насколько эффективны могут быть такие системы? Если бы подобная структура была создана при японском правительстве, то организовать работу кризисного штаба, принятие и реализацию необходимых решений, в случае катастрофы на станции Фукусима-1 удалось бы гораздо быстрее. Существовавшая структура привела к «управленческой катастрофе» – имея в запасе сутки, система управления не смогла выработать и реализовать решение, позволяющие избежать катастрофы. Цена этой ошибки более \$75 млрд в 2011 и \$250 млрд, которые потребуются для ликвидации последствий данной аварии.

Если раньше развитые системы прогноза и проектирования будущего были достоянием управляющих структур государств–лидеров, то сейчас создание и использование подобных инструментов стало доступным большинству отраслей, регионов и многим крупным компаниям. Кроме оперативного управления когнитивные центры дают возможность просчитать наиболее вероятные последствия принимаемых стратегических решений, что является очень важным. В дополнение к тому подготовка управленческих кадров требует различного сорта деловых игр, опирающихся на имитационное моделирование, коллективные действия, на глубокое понимание важнейших причинно-следственных связей. Опыт показывает,

что реальность очень существенно отличается от того, что предписывает модель. Однако типичные ошибки, которые делают руководители, могут быть выявлены на стадии моделирования и использования модели. Необходимая информация и навыки также могут быть получены в ходе «командно-штабных учений».

Одной из наиболее важных сфер применения когнитивных центров является управление рисками, опирающееся на мониторинг состояния опасных объектов, каковых на территории РФ более 50 тыс., и особо опасных – их более 5 тыс. Соответствующие датчики для многих опасных объектов и аппаратура космического сопряжения с когнитивным центром к настоящему времени уже созданы в ОАО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», эксплуатируются на ряде объектов Роскосмоса и показали высокую эффективность.

При наличии когнитивного центра можно было эффективно использовать имеющийся в Башкирии потенциал как в области естественных и гуманитарных наук, так и опыт практиков. Синергетика дает огромные возможности в сфере управления. Очень важно, чтобы люди, приходящие в эту область, представляли их в полной мере. Исследования показывают, что без специальной подготовки эффективно действовать в критической ситуации, может 3% населения. Руководить их действиями – 3% от этих 3%. Безопасность и развитие общества требуют, чтобы в ходе обучения, подготовки, различных тренингов и учений эта доля оказывалась существенно выше. Синергетика в связке со многими другими методиками дает для этого все возможности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №12-06-00402) и РГНФ (проект №12-03-00387).

### Литература

1. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. Изд. 2-е. М.: КомКнига, 2005 (Синергетика: от прошлого к будущему).
2. Пригожин И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических системах. Изд. 2-е. КомКнига, 2006 (Синергетика: от прошлого к будущему).
3. Режимы с обострением. Эволюция идеи. Законы коэволюции сложных структур. – М.: Наука, 1998. – 255с. (Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения).
4. Человек. Наука, Цивилизация. К семидесятилетию академика В.С.Стёпина. – М.: Канон+, 2004.
5. Пенроуз Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики. Изд. 4-е. – М.: УРСС, изд-во ЛКИ, 2011 (Синергетика: от прошлого к будущему).
6. Бак П. Как работает природа. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012 (Синергетика: от прошлого к будущему).
7. Малинецкий Г.Г. Миры синергетики. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012 (Синергетика: от прошлого к будущему).
8. Майнцер К. Сложносистемное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009 (Синергетика: от прошлого к будущему).
9. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Изд. 6-е – М.: ЛИБРОКОМ, 2009 (Синергетика: от прошлого к будущему).
10. Безручко Б.П., Короновский А.А., Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Путь в синергетику. Экскурс в десяти лекциях. – М.: КомКнига, 2005 (Синергетика: от прошлого к будущему).
11. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. Изд. 3-е. – М.: Едиториал УРСС, 2003 (Синергетика: от прошлого к будущему).
12. Малинецкий Г.Г. Чтоб сказку сделать былью ... Высокие технологии – путь России в будущее. Изд. 2-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013 (Синергетика: от прошлого к будущему: №58, Будущая Россия).

