

Методологический потенциал синергетики в развитии критических технологий

© В.С. Кошик

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Раскрыта роль критических технологий в реализации приоритетных направлений социального, научно-технического и промышленного развития страны и достижения за счет этого национальных социально-экономических целей. Подчеркнута значимость осмысления наиболее общих процессов, являющихся основой наукоемких, критических технологий, анализа принципиальных особенностей их развития с позиций синергетики. Выявлены особенности синергетического подхода к анализу критических технологий. Показано, что при управлении ими следует учитывать не просто совместное существование, но конвергенцию кибернетических и синергетических технологий. Обоснована особенность критических технологий в плане детерминации их развития, которая определяется генетически — на основе действий субъекта, реализующего телеологическую функцию целеполагания. Показано, что реализуемая в дальнейшем управляемая самоорганизация предусматривает наличие привносимого аттрактора, задающего процессу цель. Приведены примеры реализации выявленных принципов самоорганизации в критических нанотехнологиях.

Ключевые слова: *технонаука, прорывные технологии, синергетика, управляемая самоорганизация, привносимый аттрактор, конвергенция кибернетических технологий, конвергенция синергетических технологий*

С 1990-х гг. анализ проблем научно-технологического развития ведущих стран мира и поиск путей их решения сопровождался формированием системы «больших вызовов» (grand challenges) [1, с. 20]. Эта система стала основанием для выбора целей и задач государственной научной политики в ряде развитых стран мира, стимулировала развитие механизмов господдержки, направленных на ускоренное преобразование научных идей в технологии, а технологий — в продукты, востребованные национальной и глобальной экономикой.

Таким образом, «большие вызовы» стали одним из механизмов реализации STI (Science, Technology and Innovation) — подхода, направленного на обеспечение единства науки, технологии и инноваций — научно-технологического развития, подробно рассмотренного в комплексе работ сотрудников Высшей школы экономики [2, с. 1].

Появление такого подхода связано с тем, что наука стала рассматриваться в качестве одной из ведущих производительных сил и инструмента обеспечения технологического и социально-экономического прогресса.

Для России проблема научно-технологического развития имеет особую актуальность, учитывая последствия переходного периода 1990–2000-х гг. Обеспечение научно-технологического развития экономики страны — проблема комплексная, построенная на взаимосвязанности развития всех ее составляющих элементов. Важным событием в ходе решения этой проблемы явилась разработка стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная президентом в конце 2016 г. [3, с. 1].

Обозначенные в стратегии приоритетные направления развития позволяют сконцентрировать основные усилия государства, выделить те направления, реализация которых должна обеспечить значительный вклад в социальное, научно-техническое и промышленное развитие страны и достижение за счет этого национальных социально-экономических целей.

В каждом из приоритетных направлений развития науки и техники выделяют конкретные прикладные направления, называемые критическими технологиями. Критические технологии имеют важное социально-экономическое или оборонное значение, они связаны с развитием наиболее перспективных направлений научных исследований, высокотехнологичных отраслей промышленности, требуют значительных затрат интеллектуального труда и различного рода ресурсов [4].

Принципиальная особенность критических технологий — предельно высокий уровень требований к их качеству и эффективности. Поэтому наряду с термином «критические технологии» употребляют такие понятия, как высокие или наукоёмкие технологии. Критические технологии как самые важные с точки зрения государственных нужд и интересов общества подлежат первоочередной разработке. Такие технологии, как правило, носят межотраслевой характер, создают существенные предпосылки для развития стратегических технологических областей исследований и разработок и дают в совокупности главный вклад в решение ключевых проблем реализации приоритетных направлений развития науки и технологии.

Осмысление наиболее общих процессов, являющихся основой наукоёмких, критических технологий, позволяет провести анализ принципиальных особенностей их развития. Представляется, что такое осмысление и когнитивный анализ феномена критических технологий как экстремального проявления высоких, наукоёмких технологий, целесообразно провести с позиций синергетики.

Синергетика — относительно новое, быстроразвивающееся направление, применяемое в самых разных областях научного знания благодаря своим мировоззренческим перспективам. Привлекательность синергетики определяется широтой предметных областей, ее

междисциплинарным характером, содержанием методологии, универсальностью языка. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU по запросу термина «синергетика» выдает более 48 тысяч статей в таких предметных областях, как философия, государственное управление, образование, психология, лингвистика, энергетика, биология, медицина, культура и др.

Вместе с тем ведущие специалисты справедливо отмечают, что «...такой рост вширь иногда сводится лишь к декларациям о намерениях...» [5]. Поэтому актуальной является задача определения и уточнения основных понятий синергетики, их содержания и объема применительно к технотехнике (и особенно к критическим технологиям), формирования на этой основе соответствующих методологических следствий.

К предметной области технотехники наиболее применима следующая оценка синергетики, которую дали Е.В. Князева и С.П. Курдюмов: «Если искать предельно краткую характеристику синергетики как научной парадигмы, то такая характеристика включила бы всего три ключевые идеи: *самоорганизация, открытые системы, нелинейность*. Синергетика изучает механизмы самоорганизации определенного класса систем (открытых и нелинейных) самой различной природы, начиная с физики и кончая социологией» [6].

Критические технологии являются *открытыми* системами, так как их реализация обусловлена необходимостью обмениваться веществом, энергией и информацией с окружающей средой. Большинство критических технологий относится к *нелинейным системам*, т. е. к неравновесным системам с избирательным характером реакции на внешние воздействия среды, со способностью активно воспринимать воздействия внешней среды со скачкообразным характером реакции, приводящим к радикальному качественному изменению системы.

Основываясь на работах Е.Н. Князевой, С.П. Курдюмова, посвященных различным аспектам синергетики в естественно-научных и социальных приложениях [7, 8], особенности синергетики применительно к технотехнике и, в частности, к критическим технологиям, можно сформулировать в виде следующих положений.

Синергетика открывает новые принципы суперпозиции, сборки сложного целого из частей, построения сложных развивающихся структур из простых. Объединение структур не сводится к простому их сложению: имеет место синергический (эмерджентный) эффект, когда целое уже не равно сумме частей. Оно не больше и не меньше суммы частей, оно качественно иное.

Синергетика дает понимание того, как следует оперировать со сложными технологическими системами и как эффективно прикладывать управляющие воздействия на сложную систему (среду). Ма-

лые, но правильно организованные резонансные воздействия на сложные системы чрезвычайно эффективны.

Для ряда технологий синергетика раскрывает закономерности и условия протекания быстрых, лавинообразных процессов и процессов нелинейного, самостимулирующего роста. Важно понять, как можно инициировать такого рода процессы в открытых нелинейных средах и избегать вероятностного распада сложных структур вблизи моментов максимального развития.

Парадоксально, но наименее разработанными концептами синергетики применительно к критическим технологиям являются наиболее важные понятия, такие как самоорганизация, аттрактор и ряд других.

Самоорганизация в критических технологиях. *Понятие «самоорганизация» является ключевым для понимания сущности синергетики, поскольку синергетику и определяют как науку о самоорганизации или, более развернуто, о самопроизвольном возникновении и самоподдержании упорядоченных временных и пространственных структур в открытых нелинейных системах различной природы.*

Характерная особенность критических технологий в том, что их целью является достижение заданного технического результата, а объектами — искусственно созданные или создаваемые технические системы. При этом процесс их создания, как правило, строго регламентирован и протекает под действием внешних воздействий. Зачастую это дает основания определять происходящие в них процессы строго управляемыми, отрицая их принадлежность к процессам синергетическим. При этом, напротив, синергетическим процессам приписываются свойства самоорганизации без всяких внешних организующих воздействий.

Вместе с тем анализ процессов критических технологий показывает, что в них самоорганизация *контролируется (управляется) набором факторов*, технологических параметров, задаваемых извне — оператором, исследователем. Обобщением данного вывода может служить синергетическая концепция в теории управления А.А. Колесникова, опирающаяся на фундаментальное свойство самоорганизации природных диссипативных систем [9]. В этой концепции учитывается возможность стихийной самоорганизации, кооперативные процессы которой определяются внутренними причинами, при этом самоорганизация систем во многом непредсказуема. А.А. Колесников называет это *причинным способом самоорганизации*.

Между тем для эффективного применения идей синергетики в процессах управления причинного способа самоорганизации явно недостаточно [7, с. 41]. В реальных технических системах наиболее естественен переход от непредсказуемого поведения системы к направленному движению вдоль желаемых инвариантных многооб-

разий — аттракторов, к которым подстраиваются все переменные системы. А.А. Колесников называет это *целевым способом самоорганизации* синтезируемых систем. При таком подходе цель — аттрактор — определяет сущность процесса, а его истинное понимание состоит в самоуправлении и направленной самоорганизации в соответствии с некоторой целью. Поэтому в общем случае можно рассматривать кибернетические и синергетические технологии преобразования систем.

Кибернетические технологии основаны на достижении заданной цели при использовании управляющих воздействий, вызывающих ответные реакции. Традиционно это делается многочисленными итерациями при контроле промежуточных результатов.

Синергетические технологии осуществляют воздействия в отдельных ключевых точках бифуркации, как правило, на стадии перехода из состояния детерминированного хаоса к состоянию нового порядка.

Иначе говоря, утверждает А.А. Колесников, в нелинейных системах следует различать причинный и целевой (направленный) способы самоорганизации. При этом можно констатировать, что *управляемые синергетические процессы* отличаются тем, что воздействия заранее сконструированы, и каждое начинает влиять на систему только в определенное время и в строго определенном месте, направляя развитие системы по нужному пути.

Сложные, нелинейные, открытые системы, характерные для современных высоких (критических) технологий, претерпевают преобразования только при присущих им сочетаниях условий, им нельзя навязать иные пути трансформирования. Важно при этом понять, как способствовать реализации позитивных преобразований. Как и в общем случае, в технических системах то, что представляется хаосом, может выступать в качестве созидающего начала, конструктивного механизма преобразования.

Для технических систем характерна некоторая предопределенность, преддетерминированность разворачивания процессов в точках ветвления (точках бифуркации), настоящее состояние системы определяется не только ее прошлым, ее историей, но и строится, формируется из будущего в соответствии с грядущим порядком.

По мнению автора настоящей статьи, в управлении сложными системами, в том числе такими объектами технонауки, как критические технологии, следует обозначить не просто совместное существование, но конвергенцию кибернетических и синергетических технологий управления сложными системами. Конвергенция критических технологий имеет ярко выраженный *эмерджентный характер*, поскольку в данном случае сумма автономных элементов, соединяясь в единое целое, начинает взаимодействовать между собой, приводя к инновационному результату, демонстрирующему новые, зачастую неожиданные свойства.

Особенностью объектов технoнауки, таких как критические технологии, является то, что детерминация их развития определяется сначала «генетически» — на основе действий субъекта (разработчика, технолога). Именно они определяют генетическое развитие объекта, разрабатывая последовательность технологического процесса, предусматривающего достижения состояния, эквивалентного хаосу. Далее субъект реализует телеологическую функцию, функцию целеполагания, привнося в технологическую среду аттрактор, способствующий самоорганизации системы до заданного состояния.

Поэтому, рассматривая аттрактор в *контексте технoнауки с управляемой самоорганизацией*, целесообразно говорить о *привносимом аттракторе*, задающем процессу цель.

Выступая в качестве интегратора наук и технологий, формируя для системы понятий статус **междисциплинарного языка, синергетика в наиболее полном виде проявляется** в системообразующих критических технологиях современной технoнауки и прежде всего в нанотехнологии.

Синергетические аспекты нанотехнологий. В число приоритетных направлений развития науки, технологий и техники входит направление «Индустрия наносистем», а в перечне критических технологий в явном виде 9 из 27 технологий имеют отношение к объектам наносистем и нанотехнологии. Подчеркнем — в явном виде, так как практически в каждой из остальных технологий применяются современные наноструктурированные материалы. Поскольку современные нанотехнологии выступают основой НБИК-технологий, образующих конвергентную связь нано-, био- и информационных технологий, а также когнитивной науки [10], постольку они — наиболее яркий пример критических технологий. Поэтому именно на нанотехнологиях сделаем методологический акцент. При этом необходимо учитывать следующие соображения.

По мнению В.Г. Горохова, нанотехнология претендует на роль новой парадигмы научного мышления, которая вобрала в себя новые революционные черты научной мысли. В их число входят междисциплинарность, превалирование общенаучных методов, имитационный тип моделей, единство науки, техники и технических приложений, телеологичность, проектный характер мышления и практики, создание собственной онтологии и ее использование в качестве исходной картины мира [11, с. 41].

Поэтому нанотехнологию можно рассматривать и как своего рода *метатехнологию*, технологию «второго порядка», технологию технологий, открывающую путь для возникновения целого веера новых возможностей преобразования человеком и мира, в котором он себя обнаруживает, и самого себя в этом мире [12, с. 75].

Как показано в [13], наиболее перспективным направлением современных нанотехнологий является самосборка (самоорганизация)

наносистем. По поводу этого направления Г.Г. Малинецкий, заместитель директора по научной работе Института прикладной математики М.В. Келдыша РАН, заявил следующее: «Теория самоорганизации сложных систем и синергетика являются единственной надеждой нанотехнологий» [14].

Столь категоричное высказывание требует обоснования, рассмотрения методологических и философских аспектов проблемы. Прежде всего, анализ критических технологий современной техники с позиции синергетики позволяет выявить целый ряд общих, синергетически ориентированных междисциплинарных проявлений этого понятия. Так, в индустрии наносистем и новых материалов явно проявляется онтологическая междисциплинарность, объединяющая в рамках технологической сферы объекты совершенно разного назначения.

Примерами могут служить технологии получения монокристаллического кремния, являющегося основой современной и перспективной микроэлектроники, и монокристаллических сплавов Ni — W для изготовления тугоплавких турбинных лопаток двигателей реактивных самолетов [15].

Методологическая междисциплинарность в форме интеграции изначально отдельных технологических дисциплин здесь проявляется в реализации процесса самоорганизации при создании уникальных монокристаллических материалов диаметрально противоположного назначения. Разработанные в области кристаллографии и использованные в технологии микроэлектроники способы получения монокристаллов наглядно демонстрируют синергетические процессы самоорганизации монокристаллической структуры.

Так, процесс получения кремния в монокристаллическом виде включает ряд операций. Прежде всего, посредством сложных физико-химических операций аморфный кремний из набора одиночных кристаллов, в которых атомы кремния формируют кристаллические решетки с постоянной 0,354 нм, преобразуется в поликристаллическую структуру. Дальнейший процесс получения монокристаллического кремния в виде алмазоподобной монокристаллической решетки предусматривает доведение поликристаллического кремния до состояния расплава (этап хаоса) с последующим его затвердеванием (точка бифуркации).

Этот процесс сопровождается исключительно важным обстоятельством — воздействием на расплав затравкой заданной структуры (аттрактором). Привносимый аттрактор — обязательный элемент процессов получения монокристаллического кремния во всех известных методах получения монокристаллических слитков (по Чохральскому — зонной плавкой). Затвердевающий на торце затравки кремний воспроизводит монокристаллическую структуру затравки (аттрактора), реализуя синергетический процесс самоорганизации и

перехода из состояния хаоса в высокоорганизованное состояние, задаваемое аттрактором — затравкой.

Аналогично с точностью до технических деталей процесс направленной кристаллизации методом зонной плавки реализован при получении монокристаллических металлов.

В отличие от рассмотренных методов формирования объемных монокристаллических структур метод эпитаксии позволяет получать монокристаллические пленки толщиной от единиц до тысяч нанометров. Метод реализует синергетический процесс, в котором происходит самоорганизация продуктов реакции парогазовой смеси SiCl_4 и H_2 в монокристаллический кремний. Из состояния хаоса (множество частичек кремния, образующихся в результате химической реакции) процесс самоорганизации монокристаллической пленки определяется монокристаллической подложкой, выполняющей роль привносимого аттрактора. Этому процессу в полной мере присущи ранее обозначенные особенности самоорганизации — привносимый аттрактор и управление процессом самоорганизации.

Подчеркнем особенности рассматриваемых критических технологий.

Во-первых, образующиеся системы обладают свойством *эмерджентности*, т. е. появления у системы особых свойств, не присущих ее элементам. В ранее рассмотренных примерах это не просто образование твердой фазы, а формирование монокристаллической структуры из хаотичных расплава или парогазовой смеси. Можно констатировать, что процессы самоорганизации в технаучных средах имеют характер управляемых процессов (*directed self-assembly*). Таким образом, генетически-телеологическая детерминация может считаться характерной особенностью реализации синергетических процессов в критических технологиях.

Во-вторых, в системах используется *привносимый аттрактор*, который переводит расплав или парогазовую смесь (хаос) в самоорганизующуюся упорядоченную монокристаллическую структуру, задавая ей совокупность свойств — вид и размеры монокристаллической решетки, ориентацию кристаллографических плоскостей. В обоих случаях общим для латентно проявляющегося аттрактора является термин «затравка».

Особое место в рассматриваемых примерах синергетической самоорганизации занимает процесс нанолитографии, обеспечивающий локализацию зон микрообработки.

Характерные для синергетических процессов преимущества направленной самоорганизации реализуются в данном случае на основе принципа формообразования — снизу вверх (*bottom-up*) и использования блок-сополимеров. Такие блок-сополимеры самопроизвольно формируют упорядоченную систему цилиндров полиметил-

метакрилата диаметром ~25 нм в матрице полистирола, что позволяет получать массивы монослоев с нанометровыми размерами отдельно расположенных нитей. Это, в свою очередь, позволяет формировать регулярную систему изолированных цилиндрических канавок, которые могут быть использованы для формирования нанонитей металлов или полупроводников с нанометровой плотностью расположения элементов.

Развитием синергетического процесса самоорганизации в данном случае является введение в систему аттрактора, задающего новое устойчивое состояние и новую структуру формирующейся наноструктуры. Таким аттрактором в процессах направленной самоорганизации (*self-directed assembly*) при нанолитографии выступает так называемый топографический или химический паттерн (*pattern* — шаблон), создаваемый в фоторезисте традиционными литографическими методами. Использование паттернов в качестве аттракторов применительно к самоорганизованным молекулам блок-сополимера не только задает требуемое направление их расположения, но и обеспечивает мультипликацию частоты паттерна в 3-4 раза [16, 17].

Проведенный анализ примеров реализации синергетических процессов микро- и нанотехнологий показывает, что *целевой (направленный)* способ самоорганизации, *управляемый* синергетический процесс, *детерминированная* самоорганизующаяся система — все эти определения, несмотря на лексические различия, описывают, по сути, одно и то же проявление синергетики при управлении сложными техническими системами.

Это позволяет выявить следующие особенности, характерные для данных предметных областей:

- самоорганизация имеет ярко выраженный характер управляемого процесса (*self-directed assembly*);
- управляемость процессом самоорганизации обеспечивается привносимым аттрактором;
- понятие «аттрактор» может служить элементом междисциплинарного языка синергетики, который обобщает дисциплинарные термины: затравка (*single-crystalline seed*), подложка (*monocrystalline substrate* — *wafers*), шаблон (*pattern*);
- формирование аттракторов для управляемой самоорганизации может проводиться конвергенцией подходов «сверху вниз» (*up-down*) и «снизу вверх» (*bottom-up*).

Характерной особенностью микронанотехнологий является то, что в них важно достижение заданного технического результата, а объектом являются искусственно созданные или создаваемые технические системы. В то же время процесс их создания, как правило, строго регламентирован. Это дает основания определять происходя-

щие в них процессы, скорее, как кибернетические, управляемые, нежели чисто синергетические.

Самоорганизация в рассматриваемой предметной области *контролируется (управляется) набором факторов*, технологических параметров, задаваемых извне — оператором, исследователем.

Таким образом, можно констатировать, что в отличие от естественных (стихийных) синергетических процессов в управляемых синергетических процессах воздействия заранее сконструированы, и каждое начинает влиять на систему только в определенное время и в строго определенном месте, направляя развитие системы по нужному пути. Обнаруженное явление можно определить как системную конвергенцию кибернетических и синергетических технологий, обеспечивающих управление ходом неравновесных процессов на основе объединения традиционных (кибернетических) методов управления и создания условий для реализации новых синергетических процессов самоорганизации.

Итак, на основе анализа наиболее значимых вызовов с точки зрения научно-технологического состояния России акцентировано решающее значение критических технологий для развития страны. Показано, что критические технологии составляют предметные области технонауки, и на примере НБИК технологий заявлено, что понятие конвергенции технологий следует использовать только при возникновении синергетического (эмерджентного) эффекта.

Выявлена особенность синергетических процессов в критических технологиях, заключающаяся в том, что *детерминация* их развития определяется сначала «генетически» — на основе действий субъекта — разработчика, технолога, определяющего генетическое развитие объекта и разрабатывающего последовательность технологического процесса с достижением состояния, эквивалентного хаосу, а затем реализующего телеологическую функцию (функцию целеполагания), привнося в технологическую среду аттрактор, способствующий самоорганизации системы до заданного состояния.

На ряде примеров критических технологий выявлена их онтологическая и методологическая *междисциплинарность*, что позволяет расширить сферы применения методов анализа и оптимизации.

Показано, что сложные, нелинейные процессы прорывных технологий обладают свойствами *эмерджентности*, самоорганизация в них имеет *управляемый* характер, и она реализуется посредством *привносимого аттрактора*.

На основе анализа ряда примеров прорывных технологий показано, что понятие *аттрактор* может служить элементом *междисциплинарного языка синергетики*, который обобщает дисциплинарные термины: затравка (single-crystalline seed), подложка (monocrystalline

substrate — wafer), шаблон (pattern) при этом формирование аттракторов для управляемой самоорганизации может проводиться конвергенцией подходов «сверху вниз» (up-down) и «снизу вверх» (bottom-up).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Целевое будущее России: научно-технологический аспект*. Москва, Высшая школа экономики, 2016. URL: https://issek.hse.ru/data/2016/06/29/1115937313/01_Salihov.pdf (дата обращения 10.08.2019).
- [2] *Препринты Программы фундаментальных исследований ВШЭ*. URL: https://wp.hse.ru/preprfr_SCI (дата обращения 26.03.2018).
- [3] Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. *Гарант*. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71451998/> (дата обращения 26.03.2018).
- [4] Критические технологии. *Энциклопедия*. URL: <http://knowledge.su/k/kriticheskie-tekhnologii/> (дата обращения 26.03.2018).
- [5] Буданов В.Г. Синергетика: история, принципы, современность. *Сайт С.П. Курдюмова*. URL: <http://spkurdyumov.ru/what/sinergetika-istoriya-principy-sovremennost/> (дата обращения 26.03.2018).
- [6] Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетическая парадигма. Основные понятия в контексте истории культуры. *Сайт С.П. Курдюмова*. URL: <http://spkurdyumov.ru/art/sinergeticheskaya-paradigma/> (дата обращения 26.03.2018).
- [7] Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным. *Вопросы философии*, 1992, № 12, с. 3–20.
- [8] Князева Е.Н., Курдюмов С.П. *Основания синергетики*. Санкт-Петербург, Алетея, 2002, 414 с.
- [9] Колесников А.А. *Синергетические методы управления сложными системами. Теория системного синтеза*. Москва, Едиториал, URSS, 2005, 28 с.
- [10] Багдасарьян Н.Г., Кошик В.С. НБИК-технологии как вызов образованию. *Гуманитарный вестник*, 2018, № 1. DOI: 10.18698/2306-8477-2018-1-500
- [11] Горохов В.Г. Нанотехнология — новая парадигма научно-технической мысли. *Высшее образование сегодня*, 2008, № 5, с. 36–41.
- [12] Аршинов В.И. Сетевой путь современной нано-техно-научной практики. *Научно-публицистический журнал «НБИКС-Наука. Технологии»*, 2017, № 1, с. 67–77.
- [13] Цветков Ю.Б., Багдасарьян Н.Г., Кошик В.С. Анализ возможностей и перспектив методов нанолитографии с позиции синергетики. *Вакуумная наука и техника. Материалы XXIV научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов*. Москва, Новелла, 2017, 352 с.
- [14] Сложность и самоорганизация. Будущее мира и России. Научно-практическая конференция. Краткие тезисы. *Российский новый университет*. URL: http://www.rosnou.ru/important/konf_Kurduumov/ (дата обращения 26.03.2018).
- [15] Каблов Е.Н., Толорай В.Н., Демонис И.М., Орехов Н.Г. Направленная кристаллизация жаропрочных никелевых сплавов. *Технология легких сплавов*, 2007, № 2. URL: <https://viam.ru/public/files/2006/2006-204671.pdf> (дата обращения 26.03.2018).

- [16] Minghao Q. *ECE 695Q: Nanometer Scale Patterning and Processing*. Purdue University, 2016. URL: <https://nanohub.org/resources/24028> (дата обращения 26.03.2018).
- [17] Jeong S.-J., Kim J.Y., Kim B.H., Moon H.-S. Directed self-assembly of block copolymers for next generation nanolithography. *Materials today*, 2013, vol. 16, iss. 12, pp. 468–476.

Статья поступила в редакцию 08.10.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Кошик В.С. Методологический потенциал синергетики в развитии критических технологий. *Гуманитарный вестник*, 2019, вып. 5.
<http://dx.doi.org/10.18698/2306-8477-2019-5-623>

Кошик Виктор Сергеевич — аспирант кафедры «Социология и культурология» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Methodological potential of synergetics in the development of critical technologies

© V.S. Koshik

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The paper considers the role of critical technologies in the implementation of the priority directions of country social, scientific, technical and industrial development and the achievement of national socio-economic goals. The importance of understanding the most common processes which are the basis of high critical technologies, analysis of the principal features of their development from in terms of synergetics, is emphasized. The features of synergetic approach to the analysis of critical technologies are revealed. It is shown that their managing should take into account not just the co-existence but the convergence of cybernetic and synergetic technologies. The peculiarity of critical technologies in the context of determination of their development, inferred “genetically” based on the actions of the subject implementing the teleological function of goal-setting, is emphasized. It is shown that further implemented controlled self-organization provides for the presence of the introduced attractor, which sets the goal of the process. Examples of implementation of the revealed self-organization principles in critical nanotechnology are given.

Keywords: *technoscience, breakthrough technologies, synergetics, controlled self-organization, introduced attractor, convergence of cybernetic and synergetic technologies*

REFERENCES

- [1] *Tselevoe budushchee Rossii: nauchno-tekhnologicheskii aspekt* [Target-oriented future of Russia: scientific and technological aspect]. Moscow, Vysshaya shkola ekonomiki Publ., 2016. Available at: https://issek.hse.ru/data/2016/06/29/1115937313/01_Salihov.pdf (accessed March 26, 2018).
- [2] *Preprinty Programmy fundamentalnykh issledovaniy VShE* [Working papers by the Basic Research Program. Series: Science, Technology and Innovation / STI]. Available at: https://wp.hse.ru/prepfr_SCI. (accessed March 26, 2018).
- [3] *Strategiya nauchno-tekhnicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii*. Utverzhdena Ukazom Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 1 dekabrya 2016 g. № 642. [Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation. Approved by the decree of the President of the Russian Federation of December 1, 2016. No. 642]. *Garant*. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71451998/> (accessed March 26, 2018).
- [4] *Kriticheskie tekhnologii* [Critical technologies]. *Encyclopedia*. Available at: <http://knowledge.su/k/kriticheskie-tekhnologii/> (accessed March 26, 2018).
- [5] Budanov V.G. *Sinergetika: istoriya, printsipy, sovremennost* [Synergetics: history, principles, modernity]. *Sayt S.P. Kurdyumova* [Site of Sergei P. Kurdyumov]. Available at: <http://spkurdyumov.ru/what/sinergetika-istoriya-principiy-sovremennost/> (accessed March 26, 2018).
- [6] Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P. *Sinergeticheskaya paradig. Osnovnye ponyatiya v kontekste istorii kultury* [Synergetic paradigm. Basic concepts in the context of cultural history]. *Sayt S.P. Kurdyumova* [Site of Sergei P. Kurdyumov]. Available at: <http://spkurdyumov.ru/art/sinergeticheskaya-paradigma/> (accessed March 26, 2018).

- [7] Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P. *Voprosy filosofii (Problems of Philosophy)*, 1992, no. 12, pp. 3–20.
- [8] Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P. *Osnovaniya sinergetiki* [Foundations of synergetics]. St. Petersburg, Aletya Publ., 2002, 414 p.
- [9] Kolesnikov A.A. *Sinergeticheskie metody upravleniya slozhnymi sistemami. Teoriya sistemnogo sinteza* [Synergetic methods of complex systems management. Theory of system synthesis]. Moscow, Editorial, URSS Publ., 2005, 228 p.
- [10] Bagdasaryan N.G., Koshik V.S. *Gumanitarnyy vestnik MGTU — Humanities Bulletin of BMSTU*, 2018, no. 1. DOI: 10.18698/2306-8477-2018-1-500
- [11] Gorokhov V.G. *Vysshee obrazovanie segodnya — Higher Education Today*, 2008, no. 5, pp. 36–41.
- [12] Arshinov V.I. *NBIXS-Nauka. Tekhnologii (Nano-Bio-Info-Cogno-Socio-Science. Technologies)*, 2017, no. 1, pp. 67–77.
- [13] Tsvetkov Yu.B., Bagdasaryan N.G., Koshik V.S. Analiz vozmozhnostey i perspektiv metodov nanolitografii s pozitsii sinergetiki [Analysis of opportunities and perspectives of nanolithography methods from the position of synergetics]. *Materialy XXIV nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s uchastiem zarubezhnykh spetsialistov “Vakuumnaya nauka i tekhnika”* [Proceedings of XXIV scientific and technical conference with participation of foreign experts “Vacuum science and technology”]. Moscow, Novella Publ., 2017, 352 p.
- [14] Slozhnost i samoorganizatsiya. Budushchee mira i Rossii. [Sophistication and self-organization. The future of the world and Russia]. Nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Kratkie tezisy [Scientific and practical conference. A brief abstracts]. *Rossiyskiy Novyy Universitet*. Available at: http://www.rosnou.ru/important/konf_Kurdyumov/ (accessed March 26, 2018).
- [15] Kablov E.N., Toloraya V.N., Demonis I.M., Orekhov N.G. *Tekhnologiya legkikh splavov (Light alloy technology)*, 2007, no. 2. Available at: <https://viam.ru/public/files/2006/2006-204671.pdf> (accessed March 26, 2018).
- [16] Minghao Q. *ECE 695Q: Nanometer Scale Patterning and Processing*. Purdue University, 2016. Available at: <https://nanohub.org/resources/24028> (accessed March 26, 2018).
- [17] Jeong S.J., Kim J.Y., Kim B.H., Moon H.S., Kim S.O. *Materials today*, 2013, vol. 16, iss. 12, pp. 468–476.

Koshik V.S., post-graduate student, Department of Sociology and Culturology, Bauman Moscow State Technical University.