Сергей ГРИНЯЕВ, Алевтина ШЕВЧЕНКО, Рачья АРЗУМАНЯН

Применение мультимасштабного анализа сложных систем при сетевых взаимодействиях

МНОГООБРАЗИЕ, СЛОЖНОСТЬ И МАСШТАБ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Динамика условий существования современного общества и государства такова, что в первую очередь к критически важным структурам следует отнести собственно государственное управление, занимающее в триаде национальной безопасности («личность – общество – государство») доминирование последнего. Сложность, нелинейность мира, наличие глобальных угроз ставит под вопрос принципы универсальности не только региональных, но локальных, на уровне отдельного государства, моделей безопасности.

Актуальность пересмотра положений, фундирующих современную науку о национальной безопасности, обусловлена качественными изменениями элементов и связей в политической системе, представляемой как сложная, многоуровневая целеориентированная целостность. Особое место в практике внешнего и внутреннего «обустройства России» должно занять стратегическое управление, включающее процедуры стратегической концептуализации, стратегического проектирования, планирования, анализа и прогноза. Нужно предвидеть ситуации и создавать условия, чтобы негативные события не только не повторялись, но вообще не происходили. Такой подход к обеспечению национальной безопасности открывает субъектам стратегического осмысления перспектив развития общества и государства возможность разрабатывать взаимоувязанные по целям, ресурсам и средствам концепции обеспечения безопасности на разных уровнях и направлениях, когерентные с общей стратегией развития, и формировать среднесрочные и долгосрочные планы деятельности на этом направлении.

Онтологическая определенность стратегии достигается за счет аккумулирования множества особенностей отдельных (административно-региональных, субъектовых) схем, их типизации и способности синтезировать существенные характеристики элементов и связей для получения синергийного эффекта целостности в границах государства или геополитического региона. Кроме типовой организационной модели региональной безопасности могут и должны создаваться вариативные схемы-приложения, учитывающие специфику и динамику состояния конкретных объектов безопасности (защиты) в рамках Федерации или политико-экономического региона. Также очевидно, что целеполагание систем обеспечения безопасности должно быть заложено в стратегии развития частей гиперсистемы как единой территориальной, духовной, социально-экономической государственной целостности [1].

Методологически задача может решаться в парадигме управления сложностью и многообразием угроз и обеспечения безопасности субъекта Федерации как части и целого в сохранении целостности страны и государства. Основанная на теории сложных систем и сложносистемном способе мышления, это междисциплинарная методология для объяснения возникновения определенных макроскопических явлений в результате нелинейных взаимодействий микроскопических элементов в сложных системах.

В социальных науках понятие сложности имеет много аспектов, неочевидно связанных между собой: системы – число их частей – число связей между частями; нелинейность – асимметрия – связь и контроль – нехолономные связи; иерархия и появление; люди – понятия и ощущения – интересы – ценности и верования – способности. При этом сложность определяется как нелинейность, порождающая хаос и самоорганизацию. Достижение последней определяется структурой алгоритмов.

Сложность высокоиндустриального общества в целом и его безопасности в частности определяется большим числом элементов (его граждан), образуемых ими взаимосвязями, подструктурами и их зависимостями. Но для возникновения эффектов коллективного (синергетического) порядка в сложной системе существенно не большое число ее элементов, даже обладающих многими степенями свободы*, а их нелинейные взаимодействия [2, с. 367]. Суть стратегического управления – выбор методов и средств подчине-

Сергей ГРИНЯЕВ – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Генеральный директор Центра стратегических оценок и прогнозов

Алевтина ШЕВЧЕНКО – доктор политических наук, профессор РАНХиГС

Рачья АРЗУМАНЯН – кандидат технических наук, советник министра иностранных дел Нагорно-Карабахской Республики

* Степень свободы, по Майнцеру, – это «свойства реальных макроскопических явлений, такие как поля, общественная и экономическая мощь, чувства и даже мысли». (*Майнцер К.* Сложносистемное мышление: материя, разум, человечество. Новый синтез. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. С. 39.)

ния одних степеней свободы системы другим, т.е. определение и установление таких параметров порядка, которые соответствовали цели обеспечения безопасности. При этом детерминированное описание отдельных элементов, их состояния и поведения должно быть заменено на эволюцию вероятностных распределений.

Сложность задачи может быть выражена отношением числа неправильных способов ее решения на каждый правильный: чем больше вероятность неправильного выбора, тем выше сложность задачи. Способность системы справиться со стоящими перед ней задачами и осуществить правильный выбор диктуется, в том числе, законом необходимого многообразия, который соотносит сложность задачи со сложностью системы. Закон необходимого разнообразия (law of requisite variety) Уильяма Эшби гласит: «Чтобы управление системой было возможно, разнообразие управляющих действий должно быть не меньше разнообразия возмущений на входе в систему» [3]. Другими словами, только разнообразие может компенсировать разнообразие или только на основе сложности можно адекватно реагировать на сложные вызовы. Закон позволяет объяснить, почему решение сложной задачи возможно только системами, обладающими необходимой сложностью.

Сложность системы может также быть выражена через количество информации, необходимой для ее описания. В этом случае сложность системы будет зависеть также от масштаба, на котором она рассматривается. Описание системы на нижних уровнях иерархии (микроуровне) требует гораздо больше информации (система обладает большей сложностью), нежели на верхних (макроуровне).

Сказанное справедливо и для региональной безопасности, и для политической организации государства в целом. Не обладая достаточной сложностью, политическая организация государства, система национальной безопасности в целом окажутся не в состоянии сформировать адекватный отклик на сложные угрозы, осуществлять регулирование сложных конфликтов. Примером сложной социально-политической задачи могут служить управленческие действия по стабилизации обстановки на больших территориях, подверженных деструктивным воздействиям незаконной и неконтролируемой миграции, организованному извне и изнутри наркотрафику, хищническому несанкционированному потреблению природных и биоресурсов и т.п. Другим важным параметром является масштаб сил и средств, которые должны соответствовать масштабу решаемых управленческих задач.

Аналогичным образом можно говорить и о масштабе задач, который определяется, в том числе, масштабом сил и средств, привлекаемых для ее решения. Порой управленческая задача может быть сведена к решению ряда подзадач определенного масштаба. В этом случае общий масштаб задачи не превышает масштаба сил и средств, необходимых для решения наиболее сложной подзадачи. Простейшим примером такого разбиения может служить разнесенное по времени распределение материальных средств по множеству однородных целей. Очевидно, что данная задача качественно отличается от одновременного распределения ресурсов по множеству неоднородных целей.

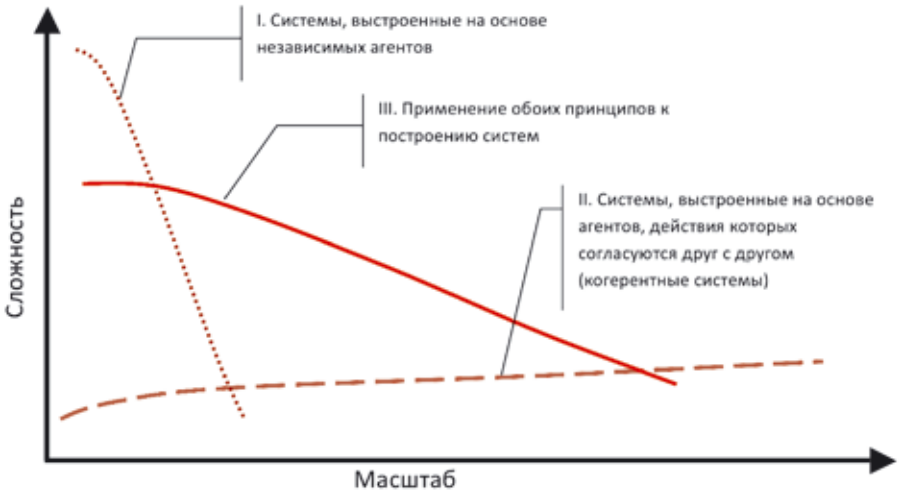
Сложность системы на каждом из уровней организационной структуры (масштаб рассмотрения) и сложность сил и средств, направленных на позиционирование противоборствующих сторон, взаимосвязаны и зависят также от характеристик пространства реализации угрозы. Дополнительные ограничения привносятся внешними факторами, такими как решения политического руководства, складывающийся международный контекст и пр.

МУЛЬТИМАСШТАБНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Мультимасштабный анализ сложных систем (МАСС) опирается на понятие «профайл сложности». Профайл сложности, представляя собой функцию сложности от масштаба задачи, позволяет понять, как изменяется сложность системы с изменением масштаба ее рассмотрения. Профайл сложности отвечает на вопрос: при имеющихся ограничениях по масштабу, какова сложность (количество возможных вариантов действий) системы, превышающая данный масштаб, и каким образом она (сложность) зависит от данных ограничений по масштабу? [4]. Сложность, как говорилось выше, также может быть выражена через количество информации, необходимой для описания системы.

Профайл сложности и МАСС в целом могут быть использованы и применительно к операционной среде в целом, позволяя получить оценки разрешающей способности

Рисунок 1. Профайл сложности систем, выстроенных на различных организационных принципах



сил и средств на различных уровнях стратегирования. Каждая задача для своего решения требует соответствующих усилий и достаточной сложности на каждом из масштабов, на которых разворачивается управляющее действие. Большая сложность на требуемом масштабе сама по себе не гарантирует эффективности сил и средств, однако недостаточная сложность, даже при высокой разрешающей способности, не позволит решить поставленные задачи.

Форма для функции. В ряде исследований показано, что для систем, состоящих из одного и того же количества элементов, но с различной организационной структурой и принципами управления, площадь под кривыми профайла сложности одинакова [5]. Это означает, что профайл может быть использован для сравнения сил и средств с различными организационно-штатными структурами, типами систем управления, регулирования и пр. Комбинирование требования достаточной сложности на требуемых масштабах с утверждением, что площадь под профайлом сложности не зависит от формы кривой, приводит к важному выводу. Организационная структура и система целеполагания и управления представляют собой компромисс целеориентированных возможностей сил и средств на различных масштабах, выражением которого может служить профайл сложности.

Фундаментальный принцип сложных систем можно сформулировать как «форма для функции» или «структура обслуживает функцию». Применительно к формированию органов государственного (политического) управления его можно постулировать следующим образом: масштаб и сложность задач государственного управления (функции) определяет масштаб и сложность органов государственного управления (кадровый состав и организационную структуру сил и средств, в том числе и систему принятия и реализации управленческого решения соответствующего уровня).

Формируя кадровый состав и организационную структуру органов управления, важно задаться вопросом: на каком масштабе, для какой территории и при выполнении каких задач она должна показать наибольшую эффективность. Когда ставится вопрос эффективности различных организационных форм командования и управления, например, иерархического или распределенного сетевого, необходимо понимать, что сами по себе структуры не являются хорошими или плохими. Чтобы сравнение приобрело смысл, следует задаться вопросом: каковы масштаб и сложность операционной среды, конфликтов и управленческих задач, которые должны обеспечить органы безопасности объекта.

Так как увеличение сложности на малых масштабах приводит к ее уменьшению на больших, организационно-штатная структура системы государственной службы (гражданской, военной, правоохранительной) должна отражать особенности ожидаемых противоречий, способных привести к конфликтам. Необходимо четкое понимать, на каком масштабе и на какой местности планируется применять создаваемые формирования, в каких условиях будет протекать противодействие.

ИЕРАРХИЧЕСКИЕ И РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

Одним из результатов применения профайла сложности становится вывод об ограниченности иерархической системы командования и управления. В жестких иерархических системах принятие решений во многом зависит от лица, находящегося на вышестоящем уровне иерархии. Эффективность системы управления в целом и конкретных решений оказывается ограничена возможностями ЛПР, в том числе его способностью справляться со сложной обстановкой и задачами. Человек, как вид, ограничен в возможностях количественной обработки информации, числа каналов, по которым он в состоянии одновременно поддерживать коммуникации и пр.

Иерархические системы, позволяющие реализовать координированное поведение на большом масштабе, имеют ограничения по эффективности, накладываемые сложностью. Например, иерархические системы командования и управления эффективны для решения задачи увеличения масштаба сил и средств, но не сложности. Вследствие фундаментальных ограничений (закон необходимого многообразия) иерархические организации оказываются неэффективны при формировании отклика на вызовы, сложность которых превышает сложность организации. Так, сложные конфликты, протекающие на сложной местности, требуют дополнения традиционных иерархических систем командования и управления альтернативными.

Примером не иерархического подхода к построению систем могут служить сетевые структуры (например, мозг человека), сложность которых несравненно больше, нежели сложность отдельного элемента – нейрона (хотя сетевая структура сама по себе не гарантирует, что она будет иметь сложность большую, нежели сложность отдельных элементов). Появление сложного мышления и Сети, сетевых и сетецентричных концепций войны, концепций гибридной и сложных войн, проводимых в операционной среде иррегулярных войн, является объективным откликом на качественное усложнение в XXI в. среды безопасности и общества в целом [6].

Хотя методы распределенного управления могут помочь справиться с некоторыми из проблем традиционного иерархического управления, они сами по себе не ведут к созданию эффективных систем. Возможно, выходом могли бы послужить эволюционные методы, механизмы функционирования и развития сложных адаптивных систем, такие как самоорганизация, позволяющие системе адаптироваться и формировать отклик на вызовы среды, решать поставленные задачи. Ярким примером эволюционного подхода к формированию отклика на сложные вызовы может служить социально-экономическая организация государства.

Однако эволюционные механизмы являются «медленными» по своей природе. Порой время, являясь критическим ресурсом, существенно ограничивает возможности эволюционного подхода к совершенствованию некоторых систем государства, например, вооруженных сил и военной организации, вынуждая обратиться к революционным, которые также могут быть описаны в рамках теории сложных адаптивных систем. При этом важно понимать, что дополнением и альтернативой иерархии является не анархия и хаос, как порой видится ситуация традиционными управленческими кругами, но другой порядок, опирающийся на парадигму нелинейности и теорию сложных адаптивных систем. Система, спроектированная для демонстрации сложного поведения на большом масштабе в непредсказуемой внешней среде, радикально отличается от системы, демонстрирующей сложное поведение на малом масштабе и в стабильной среде.

ВОЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И СЕТЬ

Широко используемое в социальной, политической и военной сферах понятие Сети требует внимательно к себе отношения и четкого понимания функций, которые она должна обеспечить. В теории сетей проблема эффективности управления часто рассматривается не в аспекте отношения «цели – средства», а в аспекте отношения «цели – процессы». Здесь доминируют не институты, а связи и отношения, формирующиеся в логике совместного действия. Сетевая модель управления «... не является заменой политике, ни более чистой, а значит принятой, формой политической деятельности. Оно производит определенные виды структур и дилемм, на которые обществоведы уже указывали» [7, с. 684]. Синергетический эффект при сетевом взаимодействии складывается из конкуренции и кооперации множества акторов, по отдельности не способных справиться с решением сложных политических проблем. Роль государства в сетях определяется в зависимости от оценки эффективности государственного участия в решении тех или иных вопросов.

Представляется важным различать два типа сетевой активности. Первый относится к системам, выстроенным как сеть агентов, каждый из которых способен демонстрировать автономное в той или иной степени поведение. Второй относится к системам, которые используют сеть при подготовке, принятии и реализации решений, формирующих общесистемное поведение. Первый тип систем можно назвать системами распределенного действия автономных агентов, второй – системами с распределенным управлением общесистемными действиями.

Системы первого типа эффективны, если необходимо обеспечить параллельное выполнение большого числа локальных задач на малом масштабе, второго – для решения ограниченного множества задач на большом масштабе. Эффективная военная организация в XXI в., на которую государство накладывает функцию обеспечения национальной безопасности, должна использовать оба типа систем, что требует четкого понимания различий между ними. Боевой состав и организационная структура сил, использующих тот или иной тип сетевой активности, будут различаться, требуя применения различных метрик для оценки эффективности и пр.

Агенты сетевого действия (networked action agents). Проведем аналогию с иммунной системой человека и представим первый вид сети состоящим из различного типа агентов (клеток), обладающих сенсорными рецепторами, осуществляющих коммуникацию друг с другом и способных в рамках иммунной реакции атаковать чужеродные агенты (антигены). Это хорошая аналогия систем, в которых вся цепь – наблюдение, оценка обстановки, выработка и принятие решения и действие – находится внутри каждого из агентов, а координация и распределенное управление в системе в целом является результатом взаимодействия между агентами. В этом случае можно говорить о системах, выстроенных на основе агентов, способных к сетевым действиям, или агентов сетевого действия. Помимо иммунной системы аналогом такого рода систем могут служить рой и роевые системы.

Критичным параметром, позволяющим говорить об отдельном агенте, является независимость при оценке обстановки, планировании и выполнении действий, то есть автономность агента. Целевые возможности и масштаб усилий агентов могут быть расширены через локальную координацию действий с другими. Причем координация в каждом из случаев оказывается уникальной и диктуется функциональной задачей, особенностями конфликта, своеобразием ситуации и операционной среды в целом. Кроме того, так как методы координации оказываются связаны с возможностями и функциями агентов, действующих на малом масштабе, задача координации требует понимания, каким образом формируются паттерны локального координированного поведения.

Определение понятия «агент» позволяет перейти к рассмотрению сети агентов, которые также могут быть разделены на гомогенные и гетерогенные. Гомогенная сеть состоит из множества агентов, обладающих одинаковыми целевыми возможностями и использующих одни и те же протоколы коммуникации, механизмы координации усилий и пр. Причем внутренняя структура самого агента, входящего в сеть, в данном случае является несущественной, и он может состоять как из гомогенных, так и гетерогенных субагентов, объединенных в ту или иную организационную структуру. Гетерогенная сеть, соответственно, состоит из множества разнородных агентов. Необходимо различать гетерогенный агент и гетерогенную сеть. Гетерогенный агент может состоять из субагентов различного типа и остается функционирующей единицей до решения поставленной задачи.

Гетерогенная сеть функционально может состоять из тех же элементов, что и гетерогенный агент. Различия связаны со способом вза-

имодействия и степенью автономности агентов в каждом из случаев. Если в случае гетерогенного агента субагенты ограничены в своих возможностях взаимодействия с другими агентами, в гетерогенной сети взаимодействия более независимы и диктуются требованиями среды и выполняемой задачи. Более слабая степень координации и независимость позволяют обеспечить большую выживаемость и устойчивость в случае потери или появления новых агентов. Система в целом оказывается более устойчивой, а решение поставленной задачи достигается за счет обеспечения необходимой плотности агентов различных типов, способных координировать усилия.

Таким образом, при рассмотрении сети и сетевого поведения необходимо учитывать и различать масштаб, на котором проводится анализ. Организационная структура системы на том или ином иерархическом уровне может быть реализована на основе гомогенной или гетерогенной сетей, выстроенных на основе гомогенных или гетерогенных агентов.

Агенты распределенного действия (distributed action agents). Такие агенты координируют действия через локальный горизонтальный обмен и коммуникации для достижения нужного масштаба усилий. При этом подключение к решению задачи новых агентов диктуется целесообразностью. Причем заранее определить, в каких формах будет проявляться коллективное поведение, невозможно. Формируемый паттерн локального поведения становится результатом самоорганизации агентов, взаимодействующих друг с другом и средой, а не организационных усилий в рамках иерархических форм управления. Попытки глобального управления паттерном активности будет тормозить локальную адаптацию агентов и сделает систему неэффективной. Сами механизмы самоорганизации и демонстрация эмерджентного поведения зачастую выглядят как мистерия и чудо, однако они могут быть исследованы через изучение механизмов самоорганизации и адаптации в сложных адаптивных системах [8].

Ключевым механизмом координации усилий и формирования эмерджентного поведения агентов распределенного управления являются локальные коммуникации. Тем не менее надо понимать как возможности, так и ограничения данных механизмов. Когда необходимо обеспечить эффективное взаимодействие на большом масштабе, агенты должны обладать опытом практической координации усилий. Такая координация не может быть достигнута только за счет самоорганизации, но является, скорее, результатом эволюционной селекции и опыта, который должен изучаться для создания эффективного паттерна коллективного поведения. Координация, выстроенная на локальных взаимодействиях, является механизмом, позволяющим демонстрировать эффективные действия на малом масштабе в условиях сложной местности. На большом масштабе он должен быть дополнен организационными формами иерархического управления.

Сетевое решение для согласованных целевых действий (networked decision coherent targeted acts). При проектировании систем, в которых выработка и принятие решения опирается на сети распределенного управления (нейросети), а реализация решений и действия на большом масштабе – на основе более жестких подсистем, может быть полезной аналогия нейромышечной системы. Такой подход позволяет совместить большую сложность, обеспечиваемую, в том числе, и применением сетевых организационных форм при выработке и принятия решений, с большим масштабом и избирательностью предпринимаемых действий. Сложность позволяет добиться того, что каждое из действий, выполняемое в определенный момент времени на том или ином масштабе, может быть выверенным и успешно осуществленным. Ограничения накладываются только на количество одновременно выполняемых действий [9].

Продолжение данного процесса и интеграция военных усилий со всеми элементами национальной мощи государства, эффективная координация действий государства на всех аренах противоборства может стать ключом для построения военной организации государства и сферы национальной безопасности в целом, которые окажутся в состоянии успешно противостоять вызовам турбулентной среды безопасности XXI века.

Литература

1. *Шевченко А.В.* К созданию типовой модели региональной безопасности / Инновационный потенциал современного региона: проблемы региональной безопасности и внутрирегиональной интеграции на постсоветском пространстве. Волгоград: ВВАГС, 2011.
2. *Майнцер К.* Сложносистемное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
3. *Ashby, William Ross.* An Introduction to Cybernetics. London: Chapman and Hall. 1957, pp. 83-99.
4. *Bar-Yam, Yanner.* Complexity of Military Conflict: Multiscale Complex Systems Analysis of Littoral Warfare, Multiscale Representation Phase II, Task 2: Multiscale Analysis of Littoral Warfare. Report to Chief of Naval Operations Strategic Studies Group, April 21, 2003, p. 4.
5. *Bar-Yam, Yanner.* Dynamics of Complex Systems. Reading, MA: Addison-Wesley, 1997. 1 March 2012. http://necsi.org/publications/ dcs/Bar-YamReadings.pdf
6. *Арзуманян Р.В.* Сложное мышление и Сеть: парадигма нелинейности и среда безопасности XXI века. Ереван: Научно-образовательный фонд «Нораванк», 2011.
7. *Сморгунов Л.В.* Сетевой подход к исследованию политики //Политология. Лексикон. М.: РОСПЭН, 2007.
8. *Arquilla, John and David Ronfeldt.* Swarming and the Future of Conflict. Santa Monica, CA: RAND Corporation, DB-311-OSD, 2000. 10 March 2012. <http://www.rand.org/pubs/documented_briefings/DB311/>; Edwards, Sean J. A. Swarming and the Future of Warfare. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2005. 10 March 2012. http://www.rand.org/pubs/rgs_dissertations/RGSD189/index.html
9. *Гриняев С.* «Американские эксперты о будущем сил специальных операций», http://www.csef.ru/studies/defence/projects/military_strategy_revew/articles/3015/