

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА СРЕДЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТА МАСШТАБА¹

Рожнов А.В.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

Университет науки и технологий МИСиС, Москва, Россия

rozhnov@ipu.ru

Аннотация. Рассматривается приложение технологий анализа среды функционирования в интересах изучения сложной структуры рисков при моделировании динамики кризисных ситуаций, комплексном совершенствовании обеспечивающих алгоритмов стратегического и оперативного управления в современных условиях. Эффект масштаба вкупе со спецификой гибридных моделей разбираются в общей проблематике мониторинга.

Ключевые слова: анализ среды функционирования, гибридные модели, мониторинг, эффект масштаба.

Введение

Интенсивное развитие средств и методов вычислительной техники, программного обеспечения всевозможных задач оптимизации во многом способствуют в настоящее время новым возможностям в применении комплексного инструментария для анализа деятельности многомерных производственных объектов. Весьма широкий спектр технологий *анализа среды функционирования* (АСФ), известного на англ. языке как "DEA" (*Data Envelopment Analysis*), реализует довольно наглядное обобщение простых показателей деятельности объектов в практике на их многомерные случаи [1, 2]. При этом важнейшим показателем деятельности, конечно же, является мера эффективности. В целом, подход заключается в решении семейства взаимоувязанных оптимизационных задач с различной степенью обеспеченности исходными данными. Так, в частности, модели со свободной оболочкой "FDH" (*Free Disposal Hull*) были предложены, по сути, одновременно с моделями DEA в работах Д. Денпинса, Л. Сумара и Г. Тулкенса. Как известно, в первоначальных моделях АСФ множество ограничений задачи является выпуклым множеством. Поэтому в теоретическом плане модели АСФ развивались несколько быстрее, так как в них стали массово и успешно использоваться методы и программы оптимизации. Однако в большинстве моделей АСФ зависимости между переменными в явном виде не могут быть, как правило, заданы с полным выполнением многих предъявляемых требований в должной мере. Поэтому важные характеристики деятельности объектов здесь формируются преимущественно непрямыми методами в ходе решения дополнительных задач, что существенно затрудняет экспертам и аналитикам применять доступное разнообразие моделей АСФ в достижимом пределе. Более того, подобный путь решения может приводить к некорректным результатам даже при эффективном применении комплексных решений *мониторинга в контексте системной интеграции* анализируемых задач исследования. Так, в цикле работ расширенного творческого коллектива было показано, что для анализа моделей АСФ можно строить явные зависимости между переменными на основе построения сечений многомерных множеств. При этом следует отметить, что в предшествовавших исследованиях были предложены и протестированы частные методы двумерной визуализации для невыпуклых моделей FDH. Это также способствует разработке совокупности ряда новых моделей и методов трёхмерной визуализации для моделей с невыпуклыми множествами производственных возможностей (гибридные модели FDH). И, в определённом смысле, выпуклые модели DEA и модели со свободной оболочкой FDH являются двумя крайними представлениями случаев моделей для анализа деятельности сложных многомерных объектов. В практике моделирования должна учитываться своего рода *недоопределённая* специфика. Поэтому в рамках проводимых комплексных исследований предполагается учитывать характерные особенности в новых моделях и разработать для них методы визуализации, в частности, рассмотреть гибридные модели DEA с частичной выпуклостью, включая также сетевые и целочисленные модели.

В данной работе тематика исследований была сориентирована в основном на пул приложений математического инструментария, предназначенного для изучения сложной структуры рисков, а также моделирования динамики кризисных ситуаций, востребованных при дальнейшем совершенствовании алгоритмов стратегического управления рисками и оперативного управления в кризисных условиях.

Мониторинг *в широком смысле* имеет неоспоримое значение в интересах выработки рекомендаций по дальнейшему совершенствованию таких методов и средств в заявленной проблематике, в связи чем рассмотрим прежде всего вопросы изменения эффекта масштаба исследуемых сложных сценариев.

¹ Исследование выполнено частично за счёт гранта РНФ № 23-11-00197, <https://rscf.ru/project/23-11-00197/>

1. Особенности развития элементов технологии анализа среды функционирования с применением гибридных моделей в сложных условиях изменения эффекта масштаба

1.1. Эффект масштаба или экономия от масштаба? Нюансы условий изменения эффекта

В целях многоаспектного исследования условий изменения эффекта масштаба рассмотрим нюансы, которые могут и должны быть учтены при построении гибридных моделей среды функционирования.

Итак, *эффект масштаба* – весьма распространённое описание ожидаемого снижения объёма затрат на единицу продукции при укрупнении производства, которое преимущественно связано с изменением стоимости единицы продукции в зависимости от масштабов её производства на протяжённом периоде. Однако, данный эффект, при котором средние издержки увеличиваются вместе с развитием или же расширением охвата, может иметь и обратные, весьма нежелательные отрицательные последствия. Прежде всего, это может обуславливаться возможной потерей управляемости ранее устоявшихся различного рода процессов и чувствительным для производственной системы снижением гибкости управленческой реакции на значимые изменения как во внешней / общей, так и локальных средах функционирования, потенциальным нарастанием внутренних противоречий. Следует отметить, что в рассматриваемых случаях использование описания производственных процессов управления может трактоваться в обобщённом смысле применительно не только к различным социально-экономическим отношениям, но и в разнообразных специфических приложениях, включая *информационный аспект*.

Действительно, искомая экономия от масштаба очевидным образом связана с общеупотребимым экономическим понятием отдачи от масштаба и может быть отчасти как подменяться во многих случаях некорректного описания проблемных ситуаций, но также неполного учёта сложных условий их взаимосвязи. Такая экономия от масштаба преимущественно определяется затратами, отдача же от масштаба, в свою очередь, описывается во взаимосвязи входов и выходов (когда подразумевается, что все входы здесь считаются переменными) производственной функции на протяжённых временных интервалах функционирования. Как известно, такие производственные функции обладают постоянной отдачей от масштаба если при увеличении всех затрат в некотором соотношении обнаруживается увеличение выпуска для того же соотношения. Для рассматриваемых сложных ситуаций возможные представления производственной функции используют гибридную математическую формализацию с реализуемой возможностью средств использования, сбора и автоматизированной обработки массивов большого объёма данных. И если в процессе мониторинга такие производственные функции являются *однородными*, отдача от масштаба также может быть представлена степенью однородности функции.

В то же время, как правило, внешняя экономия от масштаба является более распространённой в практике в сравнении с различными ситуациями и сценариями внутренней экономии от масштаба. В подобных условиях такой внешний эффект масштаба может способствовать появлению в развитой среде функционирования *новых субъектов отношений*, что, в свою очередь, также может быть пользой для большинства участников взаимодействия и конкуренции, создавая условия большей конкуренции. В конечном итоге это также предположительно снижает средние издержки для оставшихся участников, в отличие от иного внутреннего эффекта масштаба, приносящего выгоду только некоторым субъектам.

Несомненно, многоплановые нюансы условий изменения эффекта масштаба и экономии потребуют более детального описания в ходе построения гибридных моделей и подготовки исходных данных [3].

1.2. Моделирование структуры и развития сложных кризисных ситуаций, совершенствование общих элементов управления рисками и оперативного управления в кризисных условиях

Упреждающее моделирование структуры и развития сложных кризисных ситуаций в интересах взаимоувязанного совершенствования элементов организационного управления рисками в целом и оперативного управления в кризисных условиях в частности, является востребованным в практике направлением построения гибридных моделей технологии анализа среды функционирования [4, 5].

В данной работе тематика исследований в основном была сориентирована на пул приложений математического инструментария, предназначенного для изучения сложной структуры рисков, а также моделирования динамики кризисных ситуаций, реализуемых при дальнейшем совершенствовании алгоритмов стратегического управления рисками и оперативного управления в кризисных условиях.

Как показывают результаты предшествовавшего обширного анализа проблемной области [6-9], эффективное развитие методов и средств поддержки оперативного управления *в условиях неполной, противоречивой и неоднородной осведомлённости* (источников информации / данных) представляет собой перспективное направление совершенствования информационно-аналитического обеспечения управления. Построение и применение формализованных процедур и вычислительных алгоритмов оперативного реагирования при различных происшествиях и инцидентах могут быть основаны на

гибком, адаптивном моделировании аварийных и критических состояний с учётом данных текущего мониторинга, которое позволяет определять «окна возможностей» парирования для неблагоприятных сценариев развития событий и дальнейшего снижения рисков и угроз до их полного устранения [5, 6].

Одним из наиболее наглядных приложений может быть показано обеспечение безопасности социотехнических систем в соответствии с известной концепцией *риск-ориентированного управления* [5], которое описывает организацию процессов прогнозирования угроз различного характера на основе идентификации, анализа и оценки совокупности природных, техногенных и антропогенных рисков. Общая концепция *интеллектуального* риск-ориентированного управления безопасностью реализует преодоление сложившегося, но устранимого противоречия между имеющимися научно-техническими и технологическими предпосылками, с одной стороны, и сложившимися процессами и методами обоснования решений и поддержки управления, с другой [5]. Указанное противоречие проявляется, в частности, как наблюдаемое в практике различных областей несоответствие существующих методов комплексного моделирования рисков, включая математическое и информационно-аналитическое обеспечение процедур принятия и исполнения управленческих решений уровню развития новейших средств получения, сбора и ряда технологий обработки информации посредством мониторинга [5, 7].

Несомненно, природные, техногенные и антропогенные риски являются объектами с достаточно сложной структурой [5], при моделировании которой необходимо учитывать закономерности развития кризисных ситуаций и функционирования *среды мониторинга и анализа условий безопасности* (СМ), свойства объектов защиты в рассматриваемых конкретных случаях и существенное влияние иных множественных факторов. Как утверждает специалистами предметной области [5-9], применение представления структуры рисков в скалярной форме может быть неэффективным. К примеру [5], при прогнозировании масштабов допустимого и/или же фактически недопустимого ущерба с качественно различающимися составляющими, в сложных условиях исследований большого числа переменных, которые связаны с несопоставимыми и неприводимыми к единому эквиваленту признаками. При этом применение подобных методов векторной оптимизации предполагает установление функциональной зависимости между управляемыми параметрами СМ и характеристиками последствий реализации угроз, корректный прогноз которых требует детального исследования закономерностей возникновения и развития кризисных ситуаций в рамках как детерминированных определённых, так и стохастических моделей [5, 7]. Передовые СМ различных типов создают искомую основу интеграции ресурсов, сил и средств, также позволяя эффективно группировать их в единых подходах моделирования рисков [7].

Многоплановое применение обсуждаемых гибридных методов и средств для сопровождения задач поддержки управления рисками в СМ вместе с тем не позволяет в достижимой в принципе мере реализовать все потенциальные возможности передовых информационных технологий в аспекте мониторинга, а также сопутствующих методов *имитационного моделирования* [5]. Математические модели, формализованные процедуры и вычислительные алгоритмы информационно-аналитической поддержки управления в СМ, несомненно, должны обеспечивать проведение сравнительного анализа эффективности использования организационно-технических, финансовых и иных ресурсов. Решение подобных задач представляется невозможным только в рамках скалярных форм представления рисков из-за принципиальных ограничений, а необходимая эффективность применения здесь методов векторной оптимизации невелика при отсутствии полного набора адекватных моделей, отражающих структуру взаимосвязей существенных факторов рисков. В этом случае пул моделей, процедур и алгоритмов информационно-аналитической поддержки оперативного управления при реагировании на инциденты преимущественно ориентированы на всестороннее обеспечение адекватности таких прогнозов возникновения, эскалации и развития опасных процессов и динамики критических состояний с учётом данных мониторинга текущего состояния объектов защиты, а также показателей своевременности и эффективности целенаправленных действий и мероприятий взаимодействующих субъектов среды [8].

1.3. Демонстрационные примеры к обсуждению достижимой эффективности мероприятий

В интересах плодотворной дискуссии на нашей секции рассмотрим отдельные демонстрационные примеры к обсуждению достижимой эффективности мероприятий и применимости новых гибридных моделей технологии анализа среды функционирования в условиях изменения эффекта масштаба.

В частности, наглядным примером здесь также может быть представлено фактическое содержание и последующее выполнение ряда ключевых положений Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года [10]. Данная стратегия направлена на кадровое, научное, технологическое и производственное обеспечение реализации задач и национальных приоритетов России согласно всех нормативных документов стратегического планирования, определяющих сориентированные на развитие беспилотной авиации мероприятия, в

том числе посредством [10]: « - формирования новых сегментов рынка с приоритетом использования линейки продуктов беспилотных авиационных систем, материалов, компонентов, комплектующих изделий, программных решений, технологий и услуг российского производства; - обеспечения для гражданских отраслей продуктового и технологического суверенитета в области беспилотных авиационных систем, беспилотных воздушных судов, бортовых и наземных систем, в том числе посредством трансфера решений, наработанных организациями оборонно-промышленного комплекса в рамках создания и производства беспилотных авиационных систем для обеспечения национальной безопасности России; - создания специализированной системы сертификации беспилотных авиационных систем в рамках совершенствования и оптимизации действующих процедур сертификации с учётом риск-ориентированного подхода в зависимости от типа воздушного судна и ожидаемых условий эксплуатации; - формирования системы обеспечения комплексной безопасности применения, учёта и контроля беспилотных авиационных систем и их ключевых компонентов, включая системы искусственного интеллекта; - создания системы непрерывного образования, подготовки кадров и обеспечения квалифицированными кадрами отрасли беспилотной авиации» [10].

В прикладном плане, основываясь на многолетнем сопровождении Общественного семинара «Проблемы управления автономными робототехническими комплексами» (ИПУ РАН, Москва), на секции предложена к обсуждению сложившаяся система взглядов при реализации взаимоувязанных практических мер системной интеграции набора компонентов проблемно-ориентированных систем и сопутствующих процессов комплексного моделирования на предпроектной стадии их жизненного цикла как т.н. «*System-of-Systems*». В ряде сходных случаев [11, 12], в целях комплексного обеспечения эффективного управления или же обоснованного принятия решений по согласованным составляющим моделирования, ожидаемое продолжение многоаспектных исследований соотносимо с описанием и осмыслением сути *информационных барьеров*. Причём некоторые аспекты практического применения совершенствуемых инструментальных средств ранее были сориентированы на перспективные задачи многофункциональных систем низкоорбитальной спутниковой связи и передачи данных в сочетании с локализованными элементами методов и средств, отчасти подобных здесь проекту «*Geo-Wiki*» [11, 12].

Таким образом, многоаспектные исследования гибридных методов и моделей технологии анализа среды функционирования в условиях изменения эффекта масштаба обладают многообещающими перспективами плодотворного развития с применением известных и новых средств мониторинга [13].

2. Заключение

Подводя некоторые предварительные итоги аргументации доступных публичных материалов и предполагаемого традиционно плодотворного обсуждения на секции, в основном выделим следующее.

В работе рассматривается приложение технологий анализа среды функционирования в интересах изучения сложной структуры рисков при моделировании предмета кризисных ситуаций, комплексном совершенствовании обеспечивающих формализованных процедур и вычислительных алгоритмов стратегического и оперативного управления в современных динамично меняющихся условиях. При этом эффект масштаба вкупе со спецификой гибридных моделей представляются ключевым содержанием по дальнейшему совершенствованию методов и средств в проблематике мониторинга.

Характерной особенностью обоснования в этом докладе является продолжительное сопровождение Общественного постоянно действующего научно-практического семинара «Проблемы управления автономными робототехническими комплексами» (ИПУ РАН, Москва), которое используется при детализации в многочисленных примерах и при обсуждении инновационных процессов в контексте сложившейся к настоящему времени системы взглядов на реализацию взаимоувязанных процессов практических мер системной интеграции компонентов проблемно-ориентированных систем и комплексного моделирования преимущественно на предпроектных этапах их жизненного цикла [12].

Представленные положения во многом востребованы в своём последующем развитии в том числе и в следующем приоритетном для данного направления комплексных исследований ряде приложений:

- мониторинг и последующий аудит реализации проектов в контексте стратегического планирования на примере крупномасштабных и многомасштабных систем моделирования и управления,
- информационно-аналитическое сопровождение сложных задач административного управления с применением современных достижений и передовых разработок симуляции процессов управления,
- реинжиниринг процессов разработки и совершенствования конструкторско-технологических задач,
- обоснование особенностей и внесения изменений подготовки кадров наукоёмких специальностей,
- повышение квалификации управленческого персонала в новых и смежных отраслях деятельности,

- а также при дальнейшем совершенствовании подобного комплексного инструментария для анализа деятельности многомерных производственных объектов в развитой среде функционирования в целом.

Литература

1. *Krivosozhko V.E., Førsund F.R., Rozhnov A.V.* et al. Measurement of returns to scale using a non-radial DEA model // *Dokl. Math.* – 2012. – Vol. 85. – P. 144–148. – <https://doi.org/10.1134/S1064562412010322>.
2. *Ratner S.V., Lychev A.V., Rozhnov A.V., Lobanov I.A.* Efficiency Evaluation of Regional Environmental Management Systems in Russia Using Data Envelopment Analysis // *Mathematics.* – 2021. – 9(18):2210. – <https://doi.org/10.3390/math9182210>.
3. *Rozhnov A.V.* Development and Research of Hybrid Intelligence Components Based on the Quadrant Enabled Delphi Method with the Associated Application of the Data Envelopment Analysis // *Proc. of the 14th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD-2021, Moscow, Russia), IEEE.* – 2021. – P. 1–5. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9600128>.
4. *Рожнов А.В., Прус М.Ю., Нгуен Ба Туан.* Развитие виртуальной семантической среды посредством интеграции компонентов тренажёрных комплексов различного назначения // *Системы безопасности: материалы XXV-й междунауч.-техн. конф.* – М.: АГПС МЧС России, 2016. – С. 68–72.
5. *Prus Y.V., Tatarinov V.V., Prus M.Y.* Matrix representation of emergency risks // *AIP Conference Proceedings.* – 2022. – Vol. 2383. – Iss. 1. – P. 020005 (1–7).
6. *Коржевский А.С., Гончаренко В.И., Рожнов А.В., Колин К.К., Копылов И.А.* и др. Прогнозируемые вызовы и угрозы национальной безопасности Российской Федерации и направления их нейтрализации / под общей ред. *А.С. Коржевского.* Изд. ВА ГШ ВС РФ : ВИ (УНО). – М.: РГГУ, 2021. – eLIBRARY ID: 48403523, – EDN: MGKWUQ
7. *Лобанов И.А., Рожнов А.В.* Разработка предложений по системной интеграции задач в единой технологии мониторинга чрезвычайных ситуаций // *Управление развитием крупномасштабных систем: материалы Девятой международной конференции (MLSD'2016, Москва, 03–05 октября 2016 г.)* в 2-х т. Том II. Под общей ред. *С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна.* – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2016. – С. 329–331. – eLIBRARY ID: 27359048, – EDN: XASDQT.
8. *Белавкин П.А., Федосеев С.А., Рожнов А.В., Лобанов И.А.* Исследование стратегической мобильности проблемно-ориентированных систем управления и их позиционирование в условиях развития информационного пространства // *Известия ЮФУ. Технические науки: тематический выпуск "Перспективные системы и задачи управления".* – 2013, – № 3. – С. 211–217. – eLIBRARY ID: 18940783, – EDN: PYMNCF.
9. *Рожнов А.В.* Некоторые особенности репрезентации и правдоподобного отрицания США деятельности в космосе при интерпретации китайского и российского восприятия // *Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы конференции.* – М.: ИПУ РАН, 2022. – С. 92–97. – eLIBRARY ID: 50112096, – EDN: TSFZZE.
10. Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года [Утв. распоряжением Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/3m4ANa9s3PrYTDr316ibUtyEVUpnRT2x.pdf>.
11. *Panov A.I., Shvets A.V., Volkova G.D.* A technique for retrieving cause-and-effect relationships from optimized fact bases // *Scientific and Technical Information Processing.* – 2015. – V. 42. – № 6. – P. 420–425.
12. *Легович Ю.С., Рожнов А.В., Лобанов И.А., Чернявский Д.В.* Управление развитием в аспекте системной интеграции на предпроектном этапе жизненного цикла проблемно-ориентированных систем // *Имитационное моделирование. Теория и практика: труды конференции (Седьмая Всероссийская научно-практическая конференция ИММОД-2015, Москва, 21–23 октября 2015 года)* в 2 т. Том 2. Под общей ред. *С.Н. Васильева, Р.М. Юсупова.* – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2015. – С. 163–167. – eLIBRARY ID: 25420605, – EDN: VKHGLT.
13. Информационно-аналитическая система исследования возможностей деэскалации конфликта в изменяющихся условиях многостороннего переговорного процесса: патент на полезную модель RU 159360 U1, 10.02.2016 [заявка № 2014153314/08 от 29.12.2014]. Авт.: *Гончаренко В.И., Беспалов А.Н., Медведский С.Н., Карпов В.В., Цвиркун А.Д., Скорик Н.А., Прус Ю.В., Руженцев И.О.* и другие.