

А.С. ГЕЙДА, И.В. ЛЫСЕНКО
**ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПЕРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Гейда А.С., Лысенко И.В. Оценивание показателей операционных свойств систем и процессов их функционирования.

Аннотация. Определяются операционные свойства – свойства систем и процессов их функционирования, характеризующие их приспособленность к достижению целей деятельности. Рассмотрены классы практических задач, ведущих к необходимости оценивания операционных свойств – таких, как потенциал систем, эффективность, результативность, экономичность использования систем и других аналогичных операционных свойств. Вскрыта проблема исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования, предложена концепция ее решения. Концепция основывается на использовании синтетических отношений – взаимосвязанных, вложенных и иерархических – и на использовании метода исследования на основе построения таких синтетических отношений. В рамках концепции предложены унифицированные концептуальные схемы оценивания операционных свойств, используемых в отечественной практике, таких, как потенциал систем, эффективность, экономичность и аналогов используемых за рубежом свойств efficacy, performance, efficiency, effectiveness, capabilities. Предложена концепция моделирования в задачах исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования. Приведены модели синтетических отношений и их использование для оценивания показателей операционных свойств систем и процессов их функционирования.

Ключевые слова: потенциал системы, операционные состояния, операционные отношения, эффективность, эффекты, риск, рискованность, операционные свойства, оценивание, цели, целеполагание, планирование, свойства, анализ и синтез, показатели, методы, методика, информационные технологии, требования.

Geida A.S., Lysenko I.V. Operational properties of systems and their functioning indicators appraisal.

Abstract. Operational properties defined as properties of systems and processes of their functioning, which characterize their ability to achieve objectives of activity. Some classes of the practical tasks, related to necessity of operational properties estimation, such as estimation of the capability of systems, efficiency, productivity, profitability of system usage and other similar operational properties are considered. The problem of operational properties research introduced. The concept of problem of operational properties of systems and processes of their functioning research offered. The concept based on usage of the synthetic relations – the interconnected, nested and hierarchical relations and on use of a method of research, based on creation of such synthetic relations. Within this concept the unified conceptual schemes of estimation of operational properties, such, as system capability, efficiency, profitability, efficacy, performance, efficiency, effectiveness are offered. The concept of modeling in problems of operational properties of systems and processes of their functioning research offered. Models of the synthetic relations and their usage for estimation of indicators of operational properties of systems and processes of their functioning are given.

Keywords: system potential, capabilities, operational relation, efficiency, effectiveness, efficacy, effects, risk, operational properties, appraisal, objectives, goal-setting, planning, properties, analysis, synthesis, indicators, methods, technique, information technologies, requirements.

1. Введение. Практика свидетельствует, что при организации деятельности требуется научно обоснованное решение комплекса научно-исследовательских задач [21,23,45,67,89,10,11,12,15,16], связанных с исследованием таких свойств систем и процессов их функционирования.

ния, как потенциал систем, эффективность, результативность, экономичность, рискованность использования систем и других аналогичных операционных свойств. *Операционные свойства* – свойства систем и процессов их функционирования, характеризующие их приспособленность к достижению целей деятельности. Деятельность и ее цели необходимо исследовать синтетически [18], с использованием понятий об элементах деятельности и обо всех известных отношениях элементов друг с другом и со средой при достижении возможных целей деятельности. Поэтому необходимо предложить показатели и модели, позволяющие описать деятельность синтетически, в отношениях с ее элементами и со средой и методы, позволяющие решать задачи исследования операционных свойств. Примеры таких задач приведены ниже.

2. Практические задачи исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования. Задачи исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования (ОССП) связаны с необходимостью определить характеристики, а затем исследовать ОССП на их основе для того, чтобы решать важные социально-экономические задачи. Среди них задачи социально-экономического развития, модернизации промышленности, развития обороноспособности и поддержания безопасности РФ. Рассмотрим в качестве примера перспективные направления использования характеристик ОССП при решении ряда аналогичных задач, описанных зарубежными авторами [25,36,34,29,28,27,28,29,30,31,35,36,37].

Задачи совершенствования системы планирования, программирования и бюджетирования программ (Program Planning, Programming, Budgeting System, PPBS). В этих задачах [25] оказывается необходимым осуществить декомпозицию цели на подцели а затем распределить ресурсы так, чтобы максимизировать характеристики ОССП. К сожалению, научно обоснованного способа такого оценивания, позволяющего оценивать характеристики показателей ОССП на числовых прогнозных моделях еще не разработано. Ближе к этим задачам позиционируются задачи управления проектами (Project Management, PM) и задачи исследования эффективности функционирования организаций (Business Intelligence, BI, Enterprise Performance Management, EPM) [31]. Однако в задачах этого вида синтетические прогнозные показатели ОССП, как правило, не рассчитываются из-за отсутствия необходимых для этого прогнозных математических моделей и методов оценивания ОССП.

Задачи моделирования, построения и развития эффективных процессов в организациях (CMMI, Capability Maturity Modeling

Integration) [26]. В этих задачах рассматриваются направления совершенствования процессов функционирования организаций, при этом, как правило, используются эвристические процедуры оценивания совершенства организаций и процессов их функционирования. Использование характеристик ОССП в задачах этого типа должно позволить перейти от эвристик к научно обоснованным, с использованием математических моделей, прогнозным оценкам совершенства организаций.

Задачи мониторинга деятельности организаций (BAM, Business Activity Monitoring) [28]. Использование прогнозных оценок операционных свойств систем в задачах этого типа должно позволить научно обоснованно прогнозировать характеристики ОССП. Такое использование должно позволить решать задачи совершенствования деятельности предприятий на основе получаемых оценок ОССП.

Задачи исследования социально-экономических потенциальных возможностей людей по А.Сену (A.Sen Capability Approach) [34]. С использованием прогнозных оценок ОССП, введенных А.Сеном, возможно добиться оценивания потенциальных возможностей людей на математических моделях и последующего решения задач синтеза.

Задачи интеграции и развития комплекса операционных возможностей (Joint Capabilities Integration and Development System Process, JCIDS process), в том числе – исследование потенциальных возможностей в области обороны и промышленных технологий (Capabilities-Based Assessment, CBA) [27]. С использованием характеристик ОССП, рассчитываемых на прогнозных моделях в зависимости от тех или иных операционных возможностей (capabilities) возможно реализовать планирование совершенствования операционных возможностей и показателей ОССП оборонно-промышленного комплекса.

Задачи системной и программной инженерии (СиПи – от Systems Engineering, SE). СиПи определяется международным советом по системной и программной инженерии INCOSE [29], как междисциплинарный подход и средства для обеспечения реализации «успешных систем». Заметим, что уже в определении прослеживается связь с ОССП. СиПи, в соответствии с материалами INCOSE включает в свой состав такие направления, как исследование операций, исследование надежности, безопасности, рисков, архитектуры предприятий, эффективность функционирования, мехатронику, программную инженерию.

Задачи реализации эффектоориентированных операций (Effect-Based Operations, EBO) – задачи, основанные на концепции сетевых операций (Net Centric Operations), рассматриваемых как основа для реализации EBO – операций, при реализации которых основ-

ное внимание уделяется способам формирования комплексных эффектов из эффектов атомарных действий [35]. Для решения задач этого вида необходимо оценивать ОССП, что сейчас реализуется с использованием эвристических моделей.

Задачи совершенствования закупок для федеральных, военных нужд (Federal, Military Acquisition), задачи построения архитектуры оборонных организаций (The Department of Defense Architecture Framework DoDAF). Решение таких задач тесно связано с исследованием характеристик ОССП в зависимости от особенностей закупаемых изделий и услуг, с определением рационального состава элементов и отношений при построении оборонных систем [37], однако синтетических показателей ОССП, рассчитываемых на математических моделях, для решения таких задач до сих пор не предложено.

При решении рассмотренных и многих других задач наблюдается ряд источников проблемности. Они во многом определяются тем, что такие задачи, как и виды деятельности, при реализации которой они возникают, имеют синтетический [18] характер. Для их решения необходимо преобразовывать вопросы по поводу деятельности в математические задачи и при этом исследовать научно обоснованные синтетические свойства деятельности, имеющие прообразы на практике, а не использовать синтетические математические конструкции из частных показателей, которые зачастую ничему не соответствуют на практике.

К сожалению, концепции и методологии определения таких, научно обоснованных синтетических свойств деятельности – ОССП, еще не создано. Кроме того, при оценивании операционных свойств с использованием математических моделей предпочтительно пользоваться унифицированными, синтетическими методами и моделями, в том числе моделями ОССП. Таких методов и моделей еще не создано.

Совокупность нерешенных задач и источников проблемности при их решении порождают *проблему исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования* с использованием математического моделирования. Описанию ряда элементов концепции и методологии такого исследования ОССП посвящена настоящая статья.

3. Концепция исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования. Для исследования ОССП целесообразно разработать концепцию исследования, показатели, модели и унифицированный метод, позволяющие единообразно рассчитывать как частные, так и синтетические показатели операционных свойств систем и затем, по возможности унифицировано решать с их использованием задачи исследования ОССП. Синтетичность показателя опе-

рациональных свойств означает, что показатель должен позволять описывать объект исследований комплексно, так, чтобы учитывались все возможные отношения объекта исследований со средой и в результате, такое описание позволяло бы решать различные задачи по поводу деятельности с этим объектом исследований. Деятельность проявляется в виде синтетического отношения. Это отношение между состояниями элементов при реализации деятельности, отношение между результатами при их преобразованиях, отношение результатов к их мере, отношение результатов к достигаемым целям. Тем самым, показатель ОССП должен отражать характеристики такого синтетического отношения. Разные задачи исследования ОССП ведут к необходимости исследования разных отношений, возникает необходимость исследования отношений между исследуемым объектом и средой. В результате, при исследовании деятельности часто требуется расширение объекта исследований путем включения в рассмотрение отношений элементов объекта исследований с элементами среды [2,7,8]. Поэтому показатели ОССП желательно определить так, чтобы при переходе от одного объекта исследований к другому, объемлющему исходный, метод описания операционных свойств не претерпевал бы существенных изменений, а уже построенные модели использовались бы для определения показателей ОССП объемлющего объекта исследований.

Общим для отображения таких моделей и методов исследования ОССП представляется *понятие о синтетическом отношении*, с помощью которого элементы, свойства, части задачи последовательно и унифицировано связываются во все более новое целое – возможно, объемлющее целое на предыдущем шаге образования синтетического целого. *Синтетические отношения* – взаимосвязанные, вложенные и возможно, иерархичные, отношения.

Предлагается использовать в качестве модели ОССП расширение (в направлении синтетичности, вложенности и иерархичности) понятия отношения на тех или иных элементах исследуемого объекта, таких, что они связаны с реализацией деятельности. Такое последовательное расширение объектов исследования может начинаться от элементов и их характеристик, а также от представлений субъектов о желаемом будущем и его характеристиках и продолжаться до тех пор, пока не будет получена модель, основанная на синтетическом представлении отношений и позволяющая решить имеющуюся задачу с использованием известных методов решения задач. *Такой метод исследования на основе построения синтетических отношений*, далее – *метод синтетических отношений*, представляется *реализацией прин-*

цина погружения, введенного в [14], поскольку в объект исследований за счет использования синтетических отношений вводятся такие все более новые элементы, в которые погружен (с которыми связан ответственными для исследования отношениями) исходный объект.

Метод синтетических отношений позволяет систематизировать и затем унифицировать определение спектра упомянутых ранее показателей ОССП, и, кроме того, позволяет унифицировать определение показателей ОССП, используемых за рубежом, но пока еще не используемых в РФ – таких, как efficacy, performance, efficiency, effectiveness, capabilities и др. За счет этого становится возможным решать ряд актуальных в РФ социально-экономических задач [1,2,4,12,15,16,25,23] и адаптировать решение упомянутых выше задач, решаемых за рубежом [25,27,28,29,34,36,37], в направлении использования математических моделей и методов решения задач, как математических (формализацию задач) – например, как задач исследования операций и математического программирования. Рассмотрим использование предложенного метода синтетических отношений для определения ОССП и их показателей, позволяющих осуществить такую формализацию.

Рассмотрим получение результатов при реализации деятельности (отношение преобразования результатов). Это отношение первично к другим, строящимся на его основе, поскольку это отношение описывает преобразование вещества и энергии, лежащее в основе всякой предметно-преобразующей деятельности. Для синтетического описания операционных свойств отношения преобразования достаточно рассмотреть характеристики преобразуемых в процессе деятельности эффектов и отношения между ними при преобразовании. Отношения полученного результата с целью не рассматриваются. Эти отношения – на границе системы, реализующей деятельность и среды. Преобразование вещества и энергии реализуется между элементами системы, реализующей деятельность. Такое преобразование осуществляется внутри системы, в соответствии с определенной целью, которая определяется извне объекта исследований. Как правило, не рассматриваются воздействия извне системы на элементы, т.е. – не исследуются неблагоприятные результаты, вызванные событиями в среде. Операционные свойства такого объекта, в соответствии с предложенным методом синтетических отношений, целесообразно оценивать с использованием отношения, заданного на синтетических результатах деятельности – эффектах.

Для таких ОССП общеприняты названия *операционная функция, производственная функция, экономическая эффективность, соотно-*

шение *затраты-выпуск* [24], *операционный функционал* [23], а также такие частные ОССП, как *топливная, энергетическая эффективность, трудозатраты, ресурсоотдача* и т.п.. За рубежом такие ОССП принято называть *efficacy performance* (если не рассматриваются эффекты – затраты ресурсов) и *efficiency* (если рассматриваются отношения с эффектами – затратами ресурсов, с другими затратами). Такое понимание операционных свойств процессов преобразования вещества и энергии характерно для задач, в которых исследуются экономические процессы на производстве и при строительстве [24], при исследовании ОССП в информационных системах BI, EPM. Так, например, ключевые показатели производительности (*Key Performance Indicators, KPI*), как правило, представляются [31] в виде отношений основных результатов (эффектов) – например, в виде частного *прибыль/затраты, удельной ресурсоемкости, производительности*. Так, в [24] обосновывается обобщенный показатель эффективности функционирования системы, как «характеристика относительного эффекта» и указывается, что он может называться «эффективность производства, ресурсоотдача, относительное качество совокупности применяемых ресурсов, плотность потока производимой продукции, относительная используемая производственная сила, интенсивность производства и т.д.».

Недостаток свойств такого вида состоит в том, что не учитываются отношения результатов с целью функционирования. Это отношение проходит через границу системы, реализующей процесс функционирования, и среды. Поэтому, в соответствии с описанным ранее методом синтетических отношений, расширим объект исследований.

Будем теперь рассматривать функционирование не элементов, а системы в целом, для достижения заданной цели. Тогда в исследуемый объект следует включить все отношения на границе системы и среды, влияющие на результаты функционирования системы для достижения этой цели. В результате, следует рассмотреть отношения соответствия цель–эффекты. Кроме того, отношения воздействия среды на систему, ведущие к изменению функционирования для достижения заданной цели тоже должны быть рассмотрены в составе объекта исследований. Рассмотрим ОССП такого объекта исследований. Объектом исследования должно быть функционирование для достижения цели деятельности – отношение на границе функционирующей для достижения цели системы и среды. Операционные свойства такого объекта, в соответствии с методом синтетических отношений, целесообразно оценивать с использованием отношения, заданного между результатами функционирования, получаемыми при функционирова-

нии для достижения заданной цели и заданной целью (*эффективность* в смысле используемого за рубежом термина «*effectiveness*»). Такое понимание эффективности соответствует [23].

Недостатком свойств такого вида представляется то, что в нем не учитывается возможность использования системы для достижения разных целей, а также существование между целями отношений, не учитывающихся при рассмотрении лишь одного процесса достижения цели.

Системы, как правило, могут функционировать для достижения различных целей (хотя бы и на разных этапах жизненного цикла). Поэтому определять их свойством, характеризующим процесс достижения с их помощью лишь одной заданной цели, некорректно. Нельзя говорить и об эффективности системы (как комплекса предметов), поскольку система дает эффекты лишь тогда, когда она используется, и свойство эффективности характеризует лишь процесс получения результата, а не используемые для этого предметы. В то же время, в ряде задач регулярно возникает необходимость оценить операционные свойства указанного средства (функционирующей системы) – например, для его совершенствования.

Для определения такого операционного свойства расширим объект исследований в виде функционирующей для достижения заданной цели системы и рассмотрим функционирование системы, не ограниченное лишь достижением одной заданной цели. Объектом исследования при таком синтетическом исследовании операционных свойств систем является комплекс из системы, всех возможных отношений на границе системы при достижении разных целей – функционирование системы в те или иные моменты времени на всех этапах ее жизненного цикла, при использовании в разных условиях и, возможно, разными субъектами и отношение между целями – например, последовательность актуализации целей. В результате функционирования для достижения различных целей система может в разных условиях переходить в различные *операционные состояния*. Для таких возможных операционных состояний за рубежом используется понятие «*capabilities*» [25,34,27]. Операционные свойства введенного нового объекта исследований (системы и всех процессов ее функционирования), в соответствии с предложенным методом синтетических отношений, целесообразно оценивать с использованием отношения, заданного между результатами функционирования и целями. Такое свойство получило название *потенциала системы* [5]. Следует отметить, что на целях могут быть заданы отношения актуализации, в результате обмена (ве-

ществом и энергией) в среде требования к характеристикам эффектов могут меняться в зависимости от характеристик других эффектов, требования могут меняться в зависимости от особенностей процессов, протекающих в среде. Указанные особенности требуют своего учета при описании требований к результатам функционирования. Такой учет возможен на основе комплексного моделирования характеристик среды, обмена в среде. Для описания таких моделей в той или иной форме используется представление об отношениях, причем отношениях, понимаемых комплексно, как разные виды отношений связывающие, возможно, иерархически упорядоченные элементы. При реализации указанных отношений следует учитывать *риск* – возможность неблагоприятных событий [2] и порождаемое ими *свойство рискованности*, определяемое, в соответствии с методом синтетических отношений, как свойство, характеризующее неблагоприятные соответствия эффектов. Заметим, что неблагоприятное соответствие, так же как и достижение цели, должно пониматься и моделироваться синтетически.

Метод синтетических отношений может быть применен и далее, и кроме того, может быть использован для определения других операционных свойств, не нашедших отражения выше. Этот же метод предполагается применить для определения моделей, используемых для решения задач исследования ОССП, как математических задач.

4. Концепция моделирования в задачах исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования. В качестве моделей для описания функционирования систем и требований к функционированию предлагаются модели, основанные на синтетическом расширении понятия отношения. Например, эффекты функционирования систем традиционно [4] описываются с использованием синтетических отношений. Это связано, прежде всего, с тем, что эффекты формируются в результате обмена, основные элементы процессов функционирования систем – действия, в процессе выполнения которых и реализуется обмен, технологические операции – подлежат упорядочению во времени, а их элементы – в пространстве. В результате все эти отношения образуют синтетическое отношение деятельности. С использованием синтетических отношений удобно описать деятельность с применением характеристик. Так, структуризация характеристик в базах данных и ассоциация характеристик с элементами моделей реализуется на основе отношений. На основе синтетических отношений определяются модели – основы для исследования ОССП – модели результатов, эффектов и эффектообразования.

Эффектообразование – процесс получения (комплексных) эффектов операции на основе частных результатов действий при реализации операционных отношений. *Операционные отношения* – отношения (обмена веществом и энергией), складывающиеся между элементами операции при ее реализации. Как было показано выше, операционные свойства систем и процессов их функционирования тоже формализуются с использованием понятий о синтетических отношениях. Это связано с тем, что свойство – сторона, аспект изучаемого объекта. Эта сторона или аспект проявляется в результате отношений с изучаемым объектом, с его отношениями с другими объектами и с субъектом. В результате определение свойства оказывается связанным с исследованием отношений, ведущих к его проявлению и позволяющих отделить свойство [18]. За счет использования синтетических отношений возможно определить модель любого операционного свойства, поскольку все они определены нами с использованием метода синтетических отношений. Например, эффективность формализуется, как отношение между желаемым и прогнозируемым результатом функционирования для достижения заданной цели. Тем самым, в модель эффективности включены модели операционного функционала и результативности (а также оперативности, ресурсоемкости и всех частных операционных свойств). *Отношение между желаемыми и прогнозируемыми результатами имеет синтетический характер*, поскольку прогнозируемые результаты уже связаны отношениями, передаваемыми операционным функционалом, с одной стороны, а требования и прогнозируемые результаты связаны отношениями, описывающими частные операционные свойства, с другой стороны.

Содержательно такое отношение расширяет известное [23] представление о «попадании в цель», как формализации события, соответствующего достижению цели. Попадание в цель формализовывалось, как попадание случайного вектора в заданную область (в пространстве действительных чисел). Реализация события, формализуемого ранее, как «попадание в цель» соответствует реализации отношения между эффектами и требованиями к ним. Действительно, в частном случае, когда это отношение носит характер отношений порядка на действительной оси (больше, меньше, равно, не больше, не меньше, не равно), реализации отношения соответствует попадание вектора в заданную область. Отношения используются в качестве основы для задания математического понятия о графах [32,33]. Синтетическое отношение между желаемыми и прогнозируемыми результатами тоже может быть формализовано с использованием математического понятия о графе.

Такой граф будем называть графом соответствия эффектов директивным значениям (требованиям) или коротко – *графом требуемых соответствий*. Аналогично может быть задан *граф неблагоприятных соответствий*, описывающий рискованность.

В результате построение математических моделей синтетических операционных свойств может носить характер задания новых отношений на уже построенных с использованием синтетических отношений моделей элементов системы, их функционирования и элементов среды. Так, для получения модели потенциала необходимо определить отношение между всевозможными прогнозируемыми результатами по достижению различных целей и всевозможными целями функционирования в разных условиях. Модель множества потенциальных состояний представляет собой комплексное отношение, заданное на возможных отношениях между основными и обеспечивающими результатами (на допустимых значениях операционной функции).

В общем случае *синтетическое отношение может быть случайным* – т.е., характеризоваться случайностями различной природы, например – вероятностного происхождения [19] либо случайностями нечеткой природы [33]. Такие отношения и отображающие эти отношения теоретико-графовые конструкции будут предложены ниже. Понятие случайного отношения введено Розенфельдом («нечеткое отношение») [33] и представляет собой расширение понятия об обычном отношении в том смысле, что на парах из декартова произведения элементов множеств, задающих отношение, задана функция принадлежности пары отношению. В результате для всякой пары элементов множеств, образующих детерминированное отношение известно входят они в это отношение или нет, а для пары множеств, образующих случайное отношение, всякая пара элементов входит в отношение с заданным значением функции принадлежности этой пары определяемому случайному отношению.

5. Модели синтетических отношений и их использование для оценивания показателей операционных свойств систем и процессов их функционирования. Универсальной моделью синтетического отношения представляется эшграф [4,11]. Однако, как было указано выше, для разработки моделей ОССП необходим учет случайностей различной природы [20]. В результате оказывается целесообразным определить нечеткие эшграфы, а затем, ввести правила оперирования ими при оценивании показателей ОССП. Существующие понятия о (обычных) нечетких отношениях и основанные на них определения нечетких графов и гиперграфов изложены в [33].

Нечеткий эшграф задается над четкими базовыми множествами путем последовательного определения нечетких подмножеств множеств, образованных путем применения теоретико-множественных операций. При этом четкими оказываются и операции взятия декартиана и множества–степени, поскольку они реализуются не на нечетких подмножествах а на множествах – носителях. Определим его.

Нечетким эшграфом \tilde{E} над базисным множеством Ξ_n будем называть пару (Ξ_n, A) , в которой: $\Xi_n \equiv \{\xi_1, \dots, \xi_n\}$, $n \in \overline{1, N}$; $\xi_i - i$ – базисное множество объектов из множества ξ_i , $1 \leq i \leq n$; A — множество объектов, построенных из Ξ_n , определяемое следующим образом: $A \equiv s_1 \circ s_1 \circ \dots \circ s_r(\Xi_n)$, где \circ — знак суперпозиции отображений, s_j — j – е отображение множества объектов, $j \in \overline{1, r}$, $r \geq 1$:

$$s_j \in \{s^p : p = \overline{1, 5}\}; s^p = \{q^{i_p} \circ o^p \circ f^{k_p}, i_p \in I_p, k_p \in K_p, p = \overline{1, 5}\};$$

s_j – комплексное нечеткое отображение, состоящее в последовательном выполнении трех отображений – одного из начальных четких отображений $q^{i_p}, i_p \in \overline{1, I_p}, p = \overline{1, 5}$, одного из пяти основных четких отображений o^p , одного из завершающих \tilde{f}^{k_p} нечетких отображений. Соответственно, индексы частных отображений определяются индексом комплексного отображения: $i_p = h(j), k_p = w(j)$.

Начальное отображение $q^{i_p} \in q^p$ состоит в определении множеств – операндов d_j^p , таких, что d_j^p имеют требуемые (для основных отображений s_j) свойства. Начальное отображение сопоставляет множество d_j^p заданному (в результате выполнения s_{j-1}) множеству r_{j-1} – результату s_{j-1} : $q_j^{i_p} : r_{j-1} \rightarrow d_j^p$.

Основное отображение o^i – одна из базовых операций — получение декартова произведения (o^1), получение множества–степени (o^2), объединение множеств (o^3), пересечение множеств (o^4), получение подмножества (o^5) или операция может отсутствовать (т.е.,

операция — тождественное преобразование), применяется к d_j^p , а в результате его применения получают множество $e_j^p : o^p : d_j^p \rightarrow e_j^p$

Завершающее нечеткое отображение $\tilde{f}_j^{k_p}$ состоит в определении нечеткого подмножества – результата \tilde{s}_j (которое возвращается в исходный эшграф в виде результата комплексного отображения, т.е., \tilde{r}_j) по $e_j^p : \tilde{f}_j^{k_p} : (e_j^p) \rightarrow \tilde{r}_j$.

Отображение $\tilde{f}_j^{k_p}$ представляет собой композицию как минимум, двух отображений: $\tilde{f}_j^{k_p} \equiv fc_j^{k_p} \circ \tilde{fu}_j^{k_p}$, где

- $fc_j^{k_p}$ – отображение, соединяющее результат $fu_j^{k_p}$ с исходным эшграфом (четкое).
- $\tilde{fu}_j^{k_p}$ – нечеткое отображение, ставящее в соответствие множествам e_j^p нечеткие подмножества $\tilde{a}_{jp} \in e_j^p$ с нечеткой мерой $\rho_{\tilde{a}_{jp}}(a_{ijp})$ на их элементах, $a_{ijp} : \tilde{fu}_j^{k_p} : a_{ijp} \rightarrow (a_{ijp}, \rho_{a_{jp}}(a_{ijp})); \rho_{a_{jp}}(x) \in [0, 1]$.

Элементы a_{ijp} нечетких подмножеств \tilde{a}_{jp} были созданы путем применения o^p к d_j^p . Если на элементах $d_{oip} \in d_j^p$, образовавших затем a_{ijp} уже была задана нечеткая мера $\mu_{d_{oip}}$, то $\tilde{fu}_j^{k_p}(a_{ijp}) = \tilde{fu}_{j2}^{k_p}(a_{ijp}) \circ \tilde{fu}_{j1}^{k_p}(d_{oip})$ задается, как:

$$\{\mu_{\tilde{d}_{ip}}(d_{oip}) : d_{oip} \in \tilde{d}_{ip} \in d_j^p, \exists d_j^p \rightarrow e_j^p\} \xrightarrow{fu_j^{k_p}(a_{ijp})} \rho_{\tilde{a}_{jp}}(a_{ijp}) : a_{ijp} \in \tilde{a}_{jp} \in e_j^p.$$

Так, при реализации нечеткого отображения $\tilde{fu}_j^{k_p}$ на множествах a_{ijp} , состоящих из пар вида $a_{ijp} = (d_{1ip}, d_{2ip})$ вершин графов целесообразно соблюдать введенное ранее [33] условие

$$\rho_{\tilde{a}_{jp}}(a_{ijp}) \leq \mu_{\tilde{d}_{ip}}(d_{1ip}) \wedge \mu_{\tilde{d}_{ip}}(d_{2ip}),$$

где $a_{ijp} = (d_{1ip}, d_{2ip})$, $fu_j^{kp} : (\mu_{\tilde{d}_{ip}}(d_{1ip}), \mu_{\tilde{d}_{ip}}(d_{2ip})) \rightarrow (a_{ijp}, \rho_{\tilde{a}_{jp}}(a_{ijp}))$.

Определение проиллюстрировано диаграммой на рисунке.

Заметим, что обычному (четкому) эшграфу соответствует случай, когда нечеткое отображение \tilde{fu}_j^{kp} не реализуется ($f_j^{kp} \equiv fc_j^{kp}$).

Введенные определения эшграфа и нечеткого эшграфа позволяют перейти к определению показателя ОССП в случае, когда эффекты имеют нечисловой характер и (или) отношение между ними не носит характер отношения порядка, т.е. показатель ОССП уже не может быть описан традиционным образом [23], с использованием концепции о мере возможности попадания случайного числового вектора в область.

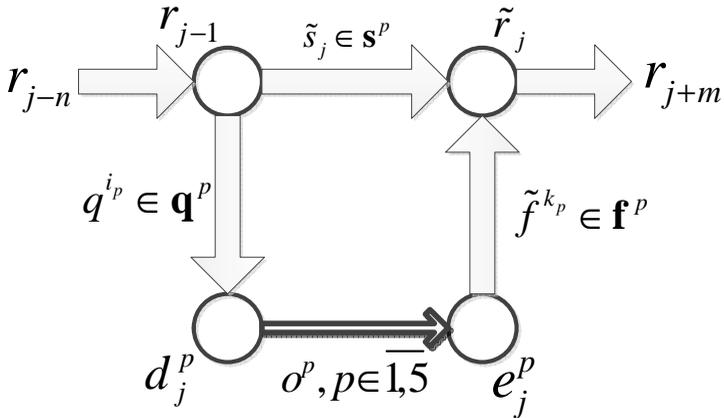


Рис. Диаграмма комплекса отображений при формировании нечеткого эшграфа.

Обозначим

- $V_{jks} \in \mathbf{V}_{j_k}, \mathbf{V}_{j_k} = \{V_{jks}, s = \overline{1, S}\}$ – значения V_{jks} из множества значений k -го эффекта при достижении j -й цели;

- $V_{jk}^\partial \in \mathbf{V}_{jk}^\partial, \mathbf{V}_{jk}^\partial = \{V_{jkp}^\partial, p = \overline{1, P}\}$ – значения V_{jkp}^∂ директивных эффектов V_{jkp}^∂ из множества значений k -го директивного эффекта при достижении j -й цели;

Соответствие между значениями эффектов и директивными значениями примет вид нечеткого отношения [33]:

$$\tilde{R}_{jk} \equiv (\mathbf{A}_{jk} \subseteq \mathbf{V}_{jk}^\partial \times \mathbf{V}_{jk}; \mu_{\tilde{R}_{jk}}(A_{jk}) : \mathbf{A}_{jk} \rightarrow [0, 1]).$$

Тогда в качестве показателя ОССП может служить возможность достижения актуализированной цели, определяемая, как реализация требуемого нечеткого отношения на всех возможных парах $A_{jk_s} \in \mathbf{A}_{jk}$ эффектов и требований к ним, т.е., реализацию требуемого отношения на графе соответствия эффектов $\mathbf{V}_{jk}, k = \overline{1, K}$ требованиям $\mathbf{V}_{jk}^\partial, k = \overline{1, K}$ к ним в соответствии с целью $G_j, j = \overline{1, J}$:

$$\mu_{G_j} \stackrel{d}{=} \prod_{k=1, K} \prod_{A_{jk_s} \in \mathbf{A}_{jk}} \mu_{\tilde{R}_{jk}}(A_{jk_s}).$$

Здесь $\prod_{A_{jk_s} \in \mathbf{A}_{jk}} \mu_{\tilde{R}_{jk}}(A_{jk_s})$ — возможность того, что граф требований соответствует графу эффекта для фиксированных k и j .

Такое выражение для показателя соответствует существующему определению нечетких отношений, поскольку в результате того, что $\mu_{\tilde{R}_{jk}}(A_{jk_s}) \leq 1$:

$$\prod_{A_{jk_s} \in \mathbf{A}_{jk}} \mu_{\tilde{R}_{jk}}(A_{jk_s}) \leq \min_{A_{jk_s} \in \mathbf{A}_{jk}} \mu_{\tilde{R}_{jk}}(A_{jk_s}).$$

Для задания меры на графах соответствия возможно также воспользоваться нечеткой мерой, задаваемой аналогично тому, как мера задается в алгебре нечетких чисел при выполнении операций с нечеткими числами [22].

Мера на графе соответствия, соответствующая по своему смыслу значению L-функции при вычислении $Poss(\tilde{Y}_{jk} \lesseqgtr Y_{jk}^\partial)$ может быть задана следующим образом:

$$Poss(\tilde{R}(\tilde{Y}_{jk}, \tilde{Y}_{jk}^\partial)) = \left(\sum_{A_{jk_s} \in \mathbf{A}_{jk}} \mu_{\tilde{R}_{jk}}(A_{jk_s}) \right) / |\mathbf{A}_{jk}|,$$

где $\tilde{R}(\tilde{Y}_{j_k}, \tilde{Y}_{j_k}^{\partial})$ — символ нечеткого отношения между \tilde{Y}_{j_k} и $\tilde{Y}_{j_k}^{\partial}$; $|\mathbf{A}_{j_k}|$ — мощность множества возможных соответствий (мощность множества дуг графа соответствий). Тогда,

$$W_j \stackrel{d}{=} \prod_{k=1, \bar{K}} \left(\sum_{A_{j_k} \in \mathbf{A}_{j_k}} \mu_{\tilde{R}_{j_k}}(A_{j_k}) \right) / |\mathbf{A}_{j_k}|.$$

Заметим, что меры на графах соответствия могут быть заданы и другими способами – например, на основе введения синтетического расширения случайных графов [19], вводимых с использованием мер на сигма-алгебрах так, чтобы имелось соответствие нечеткой и случайной мер [16]. Выбор конкретного типа меры должен диктоваться целесообразностью для решения прикладной задачи, однако неизменным остается представление показателя, как меры соответствия (меры, заданной на отношении). При этом само отношение соответствия имеет синтетический вид.

8. Заключение. В статье рассмотрены операционные свойства систем и процессов их функционирования и возможные показатели таких свойств. Приведены классы практических задач, ведущих к необходимости оценивания операционных свойств, таких как потенциал систем, эффективность, результативность, экономичность использования систем. Предложена концепция исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования, предложены унифицированные концептуальные схемы оценивания операционных свойств, концепция моделирования в задачах исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования. Описаны синтетические модели, позволяющие унифицировано оценивать показатели операционных свойств систем и процессов их функционирования. Полученные результаты позволяют перейти к разработке синтетических моделей и методов моделирования, позволяющих унифицировать решать задачи исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования.

Литература

1. *Аверкиев Н. Ф., Васильев С. А., Салов В. В.* Баллистическое построение систем космических аппаратов связи и пассивной радиолокации лунной поверхности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2008. Т.51.№ 12. С. 66-73.
2. *Багаутдинов З. З., Гейда А. С., Лысенко И. В.* Моделирование и оценивание эффективности комплекса мероприятий на основе алгебры нечетких чисел // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2008. Т. 51. № 1. С.21-24.
3. *Вероятностные методы в прикладной кибернетике: Уч. пособие. / Иоффе А.Я., Марков В.И., Петухов Г.Б. и др. Под ред. Юсупова Р.М. Л. 1976. 424с.*

4. *Гейда А. С.* Оценка эффектов функционирования организационно-технических систем: концепция автоматизации // Тр. СПИИРАН. СПб. №11 (2009). С. 63–80.
5. *Гейда А. С., Лысенко И. В., Силла Е. П.* Задачи исследования качества и потенциала систем реализации целевых программ // Информационно-управляющие системы. СПб. 2011. № 4. С. 77–83.
6. *Гейда А. С., Лысенко И. В.* Задачи исследования потенциала социально-экономических систем // Труды СПИИРАН. СПб. 2009. № 10. С. 63–84.
7. *Гейда А. С., Лысенко И. В., Седлов Е. В.* Планирование инновационной деятельности с учетом приоритетности изделий // Системы управления и информационные технологии. Воронеж. 2011. № 3.2(45). С. 220–224.
8. *Гейда А. С., Лысенко И. В., Седлов Е. В.* Методика планирования инновационной деятельности с учетом приоритетности создаваемых изделий // Информационные технологии моделирования и управления. Воронеж. 2011. № 7(72), Издательство «Научная книга», С. 747-754.
9. *Гейда А. С., Лысенко И. В.* Алгоритм оценивания качества обслуживания технической системы // Известия ВУЗов. Серия приборостроение. СПб. 1992. №3–4, С. 3–8.
10. *Гейда А. С., Лысенко И. В.* Модели, методы и информационные технологии оценивания эффективности проектов // Информационные технологии и вычислительные системы. М. 2008. №3. С. 27–38.
11. *Гейда А. С., Лысенко И. В.* Использование расширений графов для автоматизации решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования // Современные проблемы прикладной информатики. Сб. науч. Трудов научно-практической конференции по современным проблемам прикладной информатики. 23-25 мая 2012 г. / Отв. Ред. И.А. Брусакова. СПб. 2012. с. 9–12.
12. *Гейда А. С., Силла Е. П.* Проблема автоматизации решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования // Современные проблемы прикладной информатики. Сб. науч. Трудов научно-практической конференции по современным проблемам прикладной информатики. 23-25 мая 2012 г. / Отв. Ред. Брусакова И.А, Андреевский И.Л. СПб. 2012. с. 68–72.
13. *Гейда А. С.* Моделирование при исследовании технических систем: использование некоторых расширений теории графов // Тр. СПИИРАН. 17 (2011). 234–245.
14. *Гейда А.С., Лысенко И.В.* Автоматизация решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования // Тр. СПИИРАН. 22(2012). с.260–281.
15. *Гранкин Б. К., Козлов В. В., Лысенко И. В.* Принципы декомпозиции сложных объектов в проектных исследованиях // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008.-№6. С. 1–6.
16. *Гранкин Б. К., Козлов В. В., Лысенко И. В.* Принципы моделирования, декомпозиции, агрегирования и координации в системных исследованиях технологических комплексов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2010. №161. с. 124–130.
17. *Гудмэн И.* Нечеткие множества как классы эквивалентности случайных множеств // Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. М.: Радио и связь, 1986. С. 241-264.
18. *Кант И.* Критика чистого разума. М.: Мысль, 1994.— 591 с.
19. *Колчин В.Ф.* Случайные графы. М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2004. 256 с.
20. *Лысенко И. В.* Нечеткая оптимизация: новый подход к постановке и решению задач // Труды СПИИРАН. Вып. 2, т. 1. СПб, Наука. 2004 г. С. 90–118.
21. *Лысенко И. В.* Анализ и синтез сложных технических систем. Часть 1. Анализ и синтез систем обеспечения готовности ракет-носителей и космических аппаратов к запуску (основы теории). М. 1995. Воениздат. 368 С.

22. *Лысенко И.В.* Оценка качества технологических процессов: использование аппроксимирующих вероятностных моделей//Тр СПИИРАН.СПб.2006.№3.с.207–216.
23. *Петухов Г. Б., Якунин В. И.* Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ. 2006 г. 504 с.
24. *Чистов Л.М.* Теоретическое обоснование обобщающего критериального показателя эффективности функционирования социально-экономической системы // Экономическое Возрождение России. М. 2005. №2. С.53-64.
25. *Райзберг Б.А., Лобко А.Г.* Программно-целевое планирование и управление. М. ИНФРА-М. 2002. 428 С.
26. *Bush, M., Dunaway, D.* CMMI® Assessments: Motivating Positive Change. Addison-Wesley Professional. 2005. 432 p.
27. Capabilities-Based Assessment (CBA) User's Guide. December 2006, Joint Chiefs of Staff. DoD, USA. 87p.
28. *Harris, M.* Realizing the Full Scope of PLM with Business Process Management. IBM Corp. NY, USA. 2008. 16 p.
29. *Haskins, C.* INCOSE Systems Engineering Handbook. International Council on Systems Engineering. CA, USA. 2010. 185 P.
30. *Kuklys W. Amartya Sen's Capability Approach: Theoretical Insights and Empirical Applications.* Springer. Berlin. 2005. 134 p.
31. *Michalewicz Z., Schmidt M., Michalewicz M., Chiriac C.* Adaptive Business Intelligence. Springer. Berlin. 2006. 246 P.
32. *Chein M., Mugnier M.L.* Graph-based Knowledge Representation: Computational Foundations of Conceptual Graphs. Springer. Berlin. 2008. 430 P.
33. *Mordeson J. N., Nair P.S.* Fuzzy Graphs and Fuzzy Hypergraphs//Springer. 2000. 248p.
34. *Sen, A.* Development as Freedom. Knopf Publishing Group. USA. 2000. 366 p.
35. *Smith, E.A.* Effects Based Operations: Applying Network Centric Warfare in Peace, Crisis, and War. DoD-CCRP, 2002. 556 p.
36. *Treverton, G., Jones S.* Measuring national power. RAND Corp. 2005. 32 P.
37. *Wisnosky D., Vogel J.* Dodaf Wisdom. Wisdom Systems. 2004. 264 p.

Гейда Александр Сергеевич — к.т.н., доцент; старший научный сотрудник лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике СПИИРАН. Область научных интересов: анализ и синтез организационно-технических, социально-экономических систем, оценивание потенциала и эффективности их функционирования. Число научных публикаций — 113. geida@ias.spb.su, СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-3257, факс +7(812)328-4450.

Geida Alexander Sergeevich — PhD in Techniques, reader; senior researcher, Laboratory for Information-Analytic Technologies for Economics, SPIIRAS. Research interests: analysis and synthesis of techno-organizational, socio-economical systems, their functioning efficiency estimation, estimation of techno-organizational, socio-economical systems capabilities under risk conditions. The number of publications — 113. geida@ias.spb.su; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-3257, fax +7(812)328-4450.

Лысенко Игорь Васильевич — д.т.н., профессор; заведующий лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике СПИИРАН. Область научных интересов: моделирование, информационно-аналитические технологии, экономический анализ функционирования организационно-технических систем, программно-целевое планирование и управление, разработка теории нечетких чисел и функций с приложениями.

Число научных публикаций — 237. ilys@iias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-3257, факс +7(812)328-4450.

Lysenko Igor Vasilevich — D.Sc. in Techniques, professor; Laboratory for Information-Analytic Technologies for Economics chief, SPIIRAS. Research interests: modeling, information-analytic technologies, economical analysis of techno-organizational systems functioning, fuzzy numbers theory and applications. The number of publications — 237. ilys@iias.spb.su; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-3257, fax +7(812)328-4450.

Рекомендовано лабораторией информационно-аналитических технологий в экономике СПИИРАН, заведующий лабораторией — д.т.н., проф. И.В. Лысенко.
Статья поступила в редакцию 30.01.2013 г.

РЕФЕРАТ

Гейда А.С., Лысенко И.В. **Оценивание показателей операционных свойств систем и процессов их функционирования.**

В статье рассматривается проблема решения задач исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования. Операционные свойства систем и процессов их функционирования определены, как свойства систем и процессов их функционирования, характеризующие их приспособленность к достижению целей деятельности. К числу таких свойств отнесены: потенциал систем, эффективность, результативность, экономичность, рискованность использования систем.

Рассмотрены классы практических задач, ведущих к необходимости оценивания операционных свойств. Среди них задачи социально-экономического развития, модернизации промышленности, развития обороноспособности и поддержания безопасности РФ. В качестве примеров рассмотрены перспективные направления использования характеристик операционных свойств при решении ряда аналогичных задач, описанных зарубежными авторами.

Вскрыта проблема исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования. Сделан вывод о том, что для решения проблемы целесообразно разработать концепцию исследования, показатели, модели и унифицированный метод, позволяющие единообразно рассчитывать синтетические показатели операционных свойств систем и затем, по возможности, унифицировано решать с их использованием модели задач исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования.

Предложенная концепция основывается на использовании для оценивания синтетических свойств систем и процессов их функционирования определенных в работе синтетических отношений – взаимосвязанных, вложенных и иерархичных отношений и на использовании метода исследования на основе построения таких синтетических отношений. В рамках концепции предложены унифицированные концептуальные схемы оценивания операционных свойств, используемых в отечественной практике, такие, как потенциал систем, эффективность, экономичность и аналогов используемых за рубежом свойств *efficacy, performance, efficiency, effectiveness, capabilities*. Предложена концепция моделирования в задачах исследования операционных свойств систем и процессов их функционирования. В качестве моделей для описания функционирования систем и требований к функционированию предлагаются модели, основанные на введенном авторами синтетическом расширении понятия отношения.

Такое синтетическое расширение отношения может характеризоваться случайностями различной природы, например – вероятностного происхождения либо случайностями нечеткой природы. Предложены новые теоретико-графовые конструкции, использующие такие отношения. Рассмотрен пример их использования для оценивания показателей операционных свойств систем и процессов их функционирования.

SUMMARY

Geida A.S., Lysenko I.V. **Operational properties of systems and their functioning indicators appraisal.**

The problem of operational properties of systems and processes of their functioning tasks solution is considered. Operational properties of systems and processes of their functioning defined as properties of systems and processes of their functioning, which characterize their ability to achieve objectives of activity. Such properties referred to a number of such properties, such as system capability, efficiency, productivity, profitability, risks during system functioning.

Classes of the practical tasks leading to need of operational properties estimation are considered. Such problems as social and economic development, modernization of the industry, development of defense capabilities and maintaining the safety are among them. As examples, the perspective directions of operational properties characteristics usage to solve a number of research tasks are considered.

The problem of research of operational properties of systems and processes of their functioning introduced. The conclusion that it is expedient to develop the research concept for solution, indicators, models and the unified method, which shall allow to compute uniformly both contemporary and synthetic indicators of operational properties of systems is drawn. Whenever possible they shall be solved unified and with use of models of research problems of operational properties of systems and processes of their functioning.

The concept offered based on usage of the synthetic relations – the interconnected, enclosed and hierarchical relations and on usage of a method of research on the base of creation of such synthetic relations. Within this concept, the unified conceptual schemes of estimation of the operational properties such as the capability of systems, efficiency, profitability, efficacy, performance, efficiency and effectiveness offered. The modeling concept in research problems of operational properties of systems and processes of their functioning offered. As models for the description of functioning of systems and for requirements, the models based on synthetic expansion of concept of the relation offered.

Such synthetic expansion of the relation model characterized by randomness of the various natures, for example – a probabilistic one or fuzzy one. The new graph theoretic constructs developed to use such relations. An example of their use for estimation of indicators of operational properties of systems and processes of their functioning reviewed.