

А.А. АШИМОВ, А.С. ГЕЙДА, И.В. ЛЫСЕНКО, Р.М. ЮСУПОВ
**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ДРУГИЕ
ОПЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ: ЗАДАЧИ И МЕТОД
ОЦЕНИВАНИЯ**

Ашимов А.А., Гейда А.С., Лысенко И.В., Юсупов Р.М. **Эффективность функционирования и другие операционные свойства систем: задачи и метод оценивания.**

Аннотация. Представлен краткий обзор исследования эффективности целенаправленных процессов функционирования систем, выполнен обзор некоторых актуальных задач исследования операционных свойств, решаемых за рубежом. На основе анализа особенностей исследования эффективности целенаправленных процессов функционирования систем и ряда других операционных свойств отечественными и зарубежными авторами сделан вывод об актуальности решения современных задач исследования операционных свойств на основе аналитического оценивания их показателей. Описаны новые направления исследований операционных свойств систем и процессов их функционирования, таких как потенциал систем и операционные свойства использования информационных технологий. Приведены особенности совершенствуемых систем и процессов их функционирования, а также роль информационных технологий при функционировании совершенствуемых систем.

Описаны особенности целенаправленных изменений систем и переходных процессов при функционировании совершенствуемых систем. Объяснена роль информационных технологий при изменениях функционирования систем. Полученные результаты позволили исследовать операционные свойства совершенствуемых систем и использования информационных технологий. Предложены примеры моделей формирования эффектов функционирования совершенствуемой системы. Модели разработаны с учетом реализации информационных и неинформационных действий при функционировании такой системы. Для унифицированного оценивания показателей операционных свойств предложен метод аналитического оценивания, который основан на применении последовательности вводимых унифицированных схем оценивания. Предложена последовательность из трех таких схем, позволяющая оценить все описанные операционные свойства. Раскрыты особенности оценивания с использованием предложенных схем. Полученные результаты должны позволить перейти к решению задач исследования на математических моделях. Полученные результаты проиллюстрированы на примере расчета показателей операционных свойств использования информационных технологий.

Ключевые слова: эффективность, потенциал системы, операционные свойства, информационные технологии, цели, показатели, модели, моделирование, методы.

1. Введение. Операционные свойства систем и процессов их функционирования (далее — ОС) составляют ядро свойств, определяющих качество систем и процессов их функционирования (а также их изменений), поскольку описывают основные результаты использования систем на практике и их соответствие требованиям в разных условиях. Совершенствование систем и процессов их функционирования перспективно осуществлять аналитически, оценивая показатели

ОС в зависимости от переменных и параметров в решаемых задачах. В статье приведены основные особенности исследования ОС в приложении к задачам, решаемым при исследовании систем, функционирование которых имеет технологический вид (задано технологической документацией). К ним относятся, например, производственные системы, системы реализации целевых программ и проектов. Сделан вывод об актуальности аналитического оценивания ОС указанных систем и их функционирования при решении ряда практических задач. Для аналитического оценивания ОС совершенствуемых систем необходимо выполнить моделирование таких систем с учетом ряда его особенностей. А именно на основе заданных технологической документацией закономерностей формирования результатов элементарных технологических операций разных видов необходимо рассчитать характеристики результатов функционирования системы. Затем на их основе, зная возможные требования к функционированию, необходимо рассчитать показатели ОС. Приведены схемы такого оценивания и рассмотрен пример. Показано, что полученные результаты позволяют перейти к решению ряда актуальных практических задач: математических задач аналитического оценивания, анализа ОС исследуемых систем, а затем и задач синтеза по оцениваемым показателям ОС.

2. Особенности исследования операционных свойств отечественными и зарубежными авторами. Труды отечественных ученых, работающих в рамках научного направления «Исследование эффективности целенаправленных процессов» традиционно перечисляют, начиная с известной работы академика А.Н. Колмогорова [1], в работе которого впервые был изложен ряд методов оценивания эффективности стрельбы на основе введенной автором вероятностной меры. Эти методы затем были развиты Е. С. Вентцель [2], много лет проработавшей в военно-воздушной инженерной академии имени Н. Е. Жуковского. После войны она заинтересовалась задачей [3] оценивания эффективности различных видов вооружения, боеприпасов и способов организации огневых средств при стрельбе по летящим объектам. По предложению академика А. Н. Колмогорова, за показатель эффективности ПВО была взята вероятность поражения воздушной цели, вычисляемая с помощью распределения вероятностей точек разрыва снаряда в окрестности цели и условных вероятностей уничтожения цели, зависящих от точки, в которой мог бы произойти разрыв.

В 70 годах XX века эти методы получили дальнейшее развитие в трудах кафедры боевой эффективности военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, руководимой в то время Р. М. Юсуповым, ныне научным руководителем Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии

наук [4, 5]. Там же, в академии имени А. Ф. Можайского, Г. Б. Петуховым и его учениками разрабатывалась теория эффективности целенаправленных процессов (ТЭЦП) [6, 7]. В ней показателем эффективности является вероятностная мера соответствия характеристик случайных эффектов целенаправленного процесса требуемым (директивно заданным) значениям этих характеристик.

Примерно в это же время на основе методов, предложенных А. Н. Колмогоровым, были выполнены исследования повышения эффективности процессов создания, производства и применения различных видов военной техники [8-18]. Так, например, исследования эффективности применения ракетных комплексов [8, 9] проводились коллективом ученых военной академии РВСН имени Ф. Э. Дзержинского [11-13]. Выполнялись исследования эффективности функционирования сложных систем разной природы Н. А. Северцевым [8], А. В. Ильичевым [16], В. В. Подиновским [17]. Коллектив ученых военно-морской академии им. Н. Г. Кузнецова [18] под руководством И. А. Рябина за создание и внедрение комплекса методов обеспечения высокой надежности и эффективности систем вооружения в 1979 году присудили Государственную премию СССР в области науки и техники.

В последующие годы ТЭЦП получила развитие по ряду направлений исследований, которые велись в военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, в том числе на кафедре боевой эффективности Военно-космических Сил [11] и в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН) [19-22]. В настоящее время по развитию ТЭЦП ведутся исследования новых операционных свойств систем [19] и процессов их функционирования, например потенциала систем [20], эффективности использования информационных технологий [21] при функционировании систем.

За рубежом эффективность функционирования систем и другие ОС (effectiveness, efficacy, efficiency, potentiality, capability), ОС использования информационных технологий (ИТ) традиционно исследовались на основе эконометрических и эконометрических методов и моделей, тесно связанных с функционированием рынка, а также путем разработки эвристики, лучших (по операционным свойствам) практик, таких как РМВОК [22], СММИ [23], ВАВОК [24], ВРМ [25], SWeBOK [30], COBIT [31]. Описание некоторых из зарубежных исследований по направлению операционных свойств и сопоставление их с отечественными результатами приведено в [19] и [21] (в части исследования ОС ИТ).

Ряд полученных за рубежом результатов исследований различных видов операционных свойств систем, таких как efficiency, effec-

tiveness, operational capabilities, dynamic capabilities, в том числе и с учетом использования ИТ, приведен в [33-55].

Важно отметить, что в результате различий используемых моделей и методов оценивание ОС в рамках российской школы исследования эффективности реализуется, как правило, количественно, путем оценивания меры соответствия прогнозируемых результатов требованиям на аналитических моделях целенаправленного функционирования, опирающихся на закономерности формирования эффектов функционирования в зависимости от переменных и параметров в решаемых задачах. Такое прогнозирование ОС в случае исследования систем, функционирование которых носит технологический вид (далее СТС), опирается на закономерности формирования эффектов функционирования СТС в результате выполнения элементарных технологических операций с ее элементами. Для элементарных технологических операций технологической документацией заданы закономерности получения их результатов. Как следует из практики, эти закономерности представлены в документации, как дискретно-непрерывные функциональные зависимости (например, таблицы и функции зависимостей результатов элементарных операций от особенностей способа реализации этой операции). Для оценивания основных результатов (эффектов) функционирования СТС следует использовать указанные в документации зависимости результатов элементарных операций и закономерности комплексирования результатов с учетом возможных случайных событий для расчета (в общем случае случайных) эффектов функционирования СТС. Таким образом, характеристики эффектов функционирования СТС получают выполнением ряда математических операций (таких как сложение, умножение, взятие максимума, минимума) с характеристиками результатов элементарных операций. Операции описаны дискретно-непрерывными функциональными зависимостями характеристик их результатов от переменных характеристик с учетом возможных случайных событий. В результате оценивания эффектов функционирования СТС и сравнения их с требуемыми значениями можно оценить ОС, а затем решить задачи исследования ОС как задачи аналитического оценивания, анализа по показателям ОС, а затем как задачи синтеза по показателям этих свойств. Однако из-за сложности разработки моделей формирования эффектов функционирования исследование ОС в зависимости от переменных и параметров в решаемых задачах может быть трудным. Такие трудности возникают, когда в решаемых задачах требуется построение: аналитических моделей функционирования систем по достижению изменяющихся целей; аналитических моделей функционирования совер-

шенствуемых систем и процессов их функционирования; моделей переходных процессов (от достижения одной цели к другой) при функционировании; аналитических моделей использования ИТ при функционировании СТС. Общей особенностью, присущей таким задачам, является необходимость вскрытия закономерности формирования эффектов функционирования СТС из эффектов элементарных операций с учетом случайных изменений среды, целей функционирования, случайных изменений СТС и отношений между элементами при функционировании.

Зарубежными учеными указанные задачи часто решаются эвристически: решения часто получают путем обобщения опыта, экспертного оценивания, на основе обработки уже полученных результатов (апостериори) функционирования эконометрическими и экспертными методами. Тем не менее потребность в использовании аналитических моделей, опирающихся на априорные законы и закономерности формирования эффектов при функционировании СТС, сохраняется. Например, такая необходимость возникает при решении задач использования систем поддержки принятия решений (Decision Management Systems [26]); при управлении комплексными программами [27]; при использовании ИТ бизнес анализа новых поколений [29]; при использовании Agile технологий [30]; при разработке информационных и бизнес-архитектур систем [31, 32]. Использование аналитических моделей позволяет научно обоснованно решать прогностические задачи анализа и синтеза характеристик СТС и их функционирования как математические задачи (например, оптимизационные).

Общей особенностью, присущей такого вида задачам, представляется необходимость учитывать изменения среды, последующие изменения цели функционирования СТС, и в результате — изменения СТС и ее функционирования по причине воздействий среды (далее ИСФ). ИСФ реализуется для перехода к достижению изменившейся цели и для устранения несоответствий функционирования и требований к нему. При ИСФ требуется использование информационных действий для проверки состояний и для предписаний о дальнейших (в том числе информационных) действиях.

Использование аналитического оценивания показателей ОС систем и их функционирования при ИСФ, основанное на вскрытии законов и закономерностей формирования эффектов функционирования (из эффектов элементарных действий) должно позволить устранить указанные недостатки методов оценивания, основанных на эвристиках. Это позволит научно обоснованно решать и автоматизировать решение ряда актуальных практических задач исследования ОС СТС с

учетом ИСФ как математических задач аналитического оценивания, анализа и синтеза по показателям ОС СТС.

Цель моделирования ОС СТС с учетом ИСФ — обеспечить возможность решения актуальных задач практики (решаемых в настоящее время эвристически) на основе аналитического оценивания ОС СТС или с использованием как аналитического оценивания ОС, так и эвристики [14]. Рассмотрим примеры задач, в которых необходимо моделирование ОС СТС с учетом ИСФ.

3. Совершенствование систем и процессов их функционирования на основе исследования операционных свойств. Основные сведения об ОС СТС как о свойствах, характеризующих различные аспекты приспособленности систем и их функционирования к достижению целей (в частности при изменении целей функционирования), были описаны в [20]. Там же были описаны особенности оценивания ОС при ИСФ и показатели оценивания таких ОС. Достижение изменяющихся (действительных и возможных) целей при функционировании означает получать соответствующие изменяющимся требованиям эффекты (важнейшие результаты, к которым предъявлены требования).

В зависимости от состояний системы и среды могут меняться как цели (требования к эффектам), так и достигнутые состояния системы при функционировании. В результате возникает необходимость изменить дальнейшие способы действий для получения требуемых эффектов. Также может возникнуть необходимость изменения функционирования (переходных действий к началу достижения новой цели, действий по устранению недостатков и по изменению СТС).

Особенность введенных ранее концептов и принципов оценивания ОС при ИСФ для решения задач совершенствования систем и процессов их функционирования состоит, во-первых, в том, что такие ОС (например, потенциал системы) [21] учитывают результаты переходных (к достижению изменившейся цели) процессов и результаты функционирования по достижению изменившихся целей.

Во-вторых, введенные ОС [21] позволяют переходить к оцениванию показателей ОС с учетом ИСФ на основе вскрытия аналитических закономерностей формирования эффектов при функционировании СТС с учетом ИСФ. Такое аналитическое оценивание ОС с учетом ИСФ осуществляется на основе имеющихся закономерностей формирования эффектов при реализации действий. С использованием таких закономерностей возможно вскрыть зависимости показателей ОС от: выбираемых характеристик СТС; характеристик действий по изменению СТС; характеристик актуализации целей; характеристик используемых в соответствии с заданными ИТ информационных действий.

Целесообразно оценивать ОС аналитически, чтобы затем на этой основе решать практические задачи исследования ОС как математические задачи оценивания, анализа и синтеза по показателям ОС с учетом ИСФ. К таким практическим задачам (которые решаются сейчас в основном эвристически) относятся: задачи совершенствования комплексных программ и проектов; задачи бизнес анализа нового поколения; задачи использования Agile технологий.

Примерами ОС [19] являются оперативность, результативность, ресурсоемкость, объемлющее их свойство эффективности функционирования системы, потенциал системы, ОС использования информационной технологии.

Исследование ОС с учетом ИСФ включает решение задач оценивания показателей ОС, анализа ОС и синтеза характеристик системы, ее функционирования, по показателям ОС с учетом ИСФ. Результатом решения задачи синтеза по показателям ОС является план функционирования — решение математической задачи планирования. При использовании цифровых ИТ решение получают в виде цифровых моделей (например, цифровой модели плана технологических операций и планов переходных процессов при необходимости).

Из практики известно, что необходимость исследовать ОС при совершенствовании СТС и процессов их функционирования появляется регулярно, в связи с актуализацией ИСФ.

При этом актуализируются задачи совершенствования СТС и их функционирования разного вида. К показателям ОС с учетом ИСФ, использующимся при решении таких задач, предъявляются следующие требования:

- показатели должны позволять оценивать ОС при ИСФ и совершенствовании СТС и процессов их функционирования на основе прогнозирования того, насколько эффекты будут соответствовать требованиям;

- показатели должны учитывать возможности выполнения технологических операций функционирования СТС при ИСФ (устранения недостатков, модернизации, совершенствования СТС и их функционирования, переходных технологических операций), в том числе технологических информационных операций при реакции на ИСФ;

- показатели должны учитывать случайности при ИСФ. То, какие ИСФ произойдут и какие действия при функционировании будут затем реализованы, зависит от случайностей разной природы, от решений людей выполнить различные действия и от результатов этих действий. Сначала требуется выполнить информационные действия по проверке состояния СТС и среды, и затем, в зависимости от этих действий, может потребоваться решать задачи (задача — вопрос, на кото-

рый надо дать ответ) разного вида по поводу того, следует ли реализовать действия по изменению СТС и ее функционирования, какие и как.

Укажем ряд особенностей функционирования СТС и связанные с ними особенности задач исследования ОС СТС при ИСФ.

Первая особенность. Проявляется при проверке состояния СТС и ее среды в случае необходимости ответа на вопрос: нужно ли, исходя из полученных (проверенных) состояний СТС и ее среды, изменить состав и способы действий с элементами СТС. Такое изменение может быть вызвано, например, зафиксированным в результате проверки состояния СТС и ее среды изменением предоставляемых ресурсов, отказами, выявлением брака, сменой цели, занятостью рабочих мест. Необходимость изменения действий — случайное событие. Если необходимость изменения действий наступила, может потребоваться изменить: состав СТС, характеристики элементов СТС, действия с элементами СТС, способы действий, характеристики действий, их последовательности, характеристики последовательностей действий. Затем может возникнуть вопрос: следует ли реализовать переходные действия к состоянию, из которого допустимо начинать действия для достижения актуализированной «новой» цели.

Вторая особенность. Проявляется в случае, если в результате ИСФ событие, состоящее в необходимости изменения действий, наступило и затем оказалось необходимым изменить СТС и последующие действия или выполнить переходные действия по достижению изменившейся цели. При этом действия необходимо реализовать полученными на этапе планирования составом и способами мероприятий. Это означает, что проверенное состояние предугадано на этапе планирования и ему было сопоставлено решение в виде состава и способов действий. Такие действия предполагаются запланированными заранее в зависимости от возможных состояний СТС и среды, одно из которых и было выявлено путем проверки. При этом необходимо найти (например, в базе данных) полученное на этапе планирования решение, соответствующее результатам проверки.

Третья особенность. Проявляется, если проверенное состояние не может быть отнесено к множеству, для элементов которого решения о дальнейших действиях были получены на этапе планирования. При этом необходимо найти неизвестный до начала функционирования, лучший состав СТС, состав и (или) способы действий из множества допустимых.

При проявлении каждой из этих особенностей или их комбинации необходимо использовать какую-либо (одну или несколько) ИТ для проверки состояний СТС и ее среды и затем для принятия решений о дальнейших действиях. Использование ИТ при проявлении ука-

занных особенностей часто связано с действиями людей по формированию целей, по прогнозированию, по совершенствованию функционирования и, наконец, по реализации решений на практике.

Исследование ОС СТС с учетом ИСФ составляет основу совершенствования СТС и их функционирования. Однако такое исследование может быть выполнено как на основе использования математических методов и моделей, так и эвристически, путем систематизации опыта — как в некоторых из рассмотренных задач совершенствования систем и функционирования. Решение задач оценивания, анализа и синтеза СТС по рассчитываемым на основе аналитических закономерностей функционирования и совершенствования функционирования показателей ОС позволяет перейти к постановке и решению практических задач совершенствования СТС и их функционирования как математических задач.

4. Исследование операционных свойств использования информационных технологий. Концепты и принципы исследования ОС использования ИТ были рассмотрены в работе [21]. Важно отметить, что польза, извлекаемая из ИТ, — это возможность выбрать лучшие информационное и неинформационное действия (из множества возможных или из множества допустимых действий соответствующего вида), чтобы затем их реализовать. При функционировании СТС такая возможность реализуется за счет информационных действий. Возможности получения лучших результатов функционирования СТС с учетом ИСФ, с одной стороны, и необходимость выбора действий и их характеристик для получения лучших результатов, с другой стороны, ведет к необходимости использования ИТ при функционировании СТС в условиях ИСФ. Сравнить использование разных ИТ при функционировании таких СТС целесообразно по показателям ОС СТС в условиях использования одной из ИТ при ИСФ.

Использование ИТ при функционировании СТС в условиях ИСФ состоит в проверке достигнутого (действительного) состояния и затем прогнозирования соответствия будущих состояний СТС актуальным целям. Такие проверки и прогнозирование происходят при реализации информационного действия. Поэтому ИТ используется сначала для оценивания состояний СТС и их соответствий целям, затем при необходимости информационные действия используются для изменения последующих действий (например, для начала реализации действий по переходу к достижению новой цели). Использование информационных действий одной (первой) ИТ, например, может привести к решению о продолжении функционирования СТС по имеющемуся плану, а второй — к решению о переходных действиях. Тем самым с использованием информационных действий второй ИТ будут реализованы переходные

действия, а затем — изменится функционирование СТС. В результате при использовании второй ИТ получают состояния, отличные от состояний при использовании первой ИТ. При этом информационные действия так чередуются с действиями неинформационными, что следующие за ними неинформационные действия, полученные в результате информационного действия, функционально зависят от него.

ИСФ могут затрагивать состав, связи и характеристики: элементов системы; действий при функционировании системы; актуализаций действий. В зависимости от того, какие ИТ будут использованы при реализации информационных действий, будут реализованы разные зависимые от них действия (разными способами) и получены разные эффекты функционирования при ИСФ. По тому, насколько такие эффекты отличаются при использовании разных информационных действий (разных ИТ) при ИСФ и насколько при таком использовании будут достигаться цели функционирования, можно судить об ОС использования ИТ.

Развернем последовательности зависимых информационных и неинформационных действий (с зависимыми способами реализации) в дерево последовательностей действий разными способами. В зависимости от используемых информационных действий в соответствии с какой-либо ИТ будут получены цепочки зависимых от них разных (с разными характеристиками) способов действий и разные конечные результаты. Использованию одной ИТ соответствует поддерево, в котором все информационные действия выполняются по этой ИТ.

Общим в двух рассмотренных примерах исследования ОС при ИСФ представляется постановка задачи исследования, а именно дано: характеристики эффектов для каждого способа действий, их зависимости от переменных, зависимости неинформационных действий от информационных, характеристики возможных ИСФ. Найти: значения показателей ОС с учетом возможных ИСФ. Затем, используя полученные результаты, решить задачи анализа и синтеза по этим показателям.

ОС следует оценивать таким методом, чтобы:

– различные ОС объектов (систем, их функционирования) при разных ИСФ, при достижении разных целей оценивались бы по подобным схемам;

– метод и схемы оценивания были бы подобными для СТС с разными особенностями: ИСФ; эффектов функционирования СТС; используемых технологий; переменных в решаемых задачах; достигаемых СТС целей;

– получаемые оценки показателей ОС с учетом ИСФ и зависимости показателей ОС от переменных имели бы явную практическую

интерпретацию, позволяющую научно обоснованно выбирать лучшие для исследователя объекты оценивания.

Такой метод оценивания был разработан на основе использования *схем оценивания ОС* — устойчивых (к изменениям видов реализуемых действий, к их особенностям, к условиям реализации действий и к достигаемым целям) математических выражений, задающих меру соответствия характеристик прогнозируемых эффектов изменяющимся требованиям к ним.

5. Метод аналитического оценивания операционных свойств на основе схем их оценивания. Метод оценивания ОС основан на последовательном введении подобных схем оценивания ОС разных видов. Такая последовательность отличается тем, что она позволяет удовлетворить указанные выше требования к методу аналитического оценивания в задачах оценивания ОС. В последовательности каждая последующая схема использует предыдущую. В результате последовательность приспособлена к продолжению порождения схем, используемых для решения перспективных задач исследования ОС.

Опишем последовательность из трех схем оценивания ОС, составляющих основу метода оценивания ОС.

Первая из таких схем — *схема оценивания эффективности функционирования*, разработанная на основе концепции оценивания эффективности целенаправленных процессов [6, 7].

При оценивании в соответствии с этой схемой предполагается, что в процессе реализации действий решения о совершенствовании СТС не влияют на функционирование, действия по достижению цели не прерываются, цель не меняется.

Вторая схема обобщает первую путем учета достижения изменяющихся целей. При использовании этой схемы предполагается, что возможные изменения целей функционирования СТС и соответствующие им переходные процессы к функционированию по достижению изменившейся цели заданы заранее, соответствующие решения уже разработаны, неизвестен лишь момент прерывания функционирования для перехода к одному из заданных новых функционирований в связи с изменившейся целью.

Наконец, *третья схема* обобщает две первые для учета возможных целенаправленных действий в результате ИСФ (совершенствования, переходных процессов), которые выбирают и реализуют с использованием информационных действий при функционировании, в зависимости от состояний СТС и ее среды при функционировании. Состояния СТС и ее среды проверяют в заданные моменты времени, число которых конечно.

Выполним последовательную формализацию указанных схем.

1. *Схема оценивания эффективности.* Схема описывает оценивание величины I_p — значения предиката p , задаваемого следующим образом:

$$p: \hat{Y}_{\langle 3 \rangle} \times R_{\langle 3 \rangle}^0 \times Y_{\langle 3 \rangle}^0 \rightarrow [0, 1], \text{ где } p \text{ — неопределенный предикат;}$$

$\hat{Y}_{\langle 3 \rangle}$ — это множество векторов случайных значений характеристик эффектов: $\hat{Y}_{\langle 3 \rangle} = \{\hat{y}_{\langle 3 \rangle_i} : i = \overline{1, n}\}$, где i — номер вектора;

Здесь случайные величины и события задаются с использованием меры, удовлетворяющей аксиомам вероятностной меры. Предполагается, что такая мера также может иметь смысл меры возможности.

Вектора значений характеристик описаны для примера в традиционном трехкомпонентном [5] виде характеристик результативности (1), оперативности (2) и ресурсоемкости (3). В общем случае эти векторы могут иметь любую конечную размерность.

$Y_{\langle 3 \rangle}^0$ — это множество векторов требуемых (директивных, заданных) значений характеристик эффектов:

$$Y_{\langle 3 \rangle}^0 = \{y_{\langle 3 \rangle_k}^0 : k = \overline{1, K}\} \text{ где } k \text{ — номер вектора;}$$

$R_{\langle 3 \rangle}^0$ — это множество векторов требуемых отношений между случайными значениями характеристик эффектов и их требуемыми значениями: $R_{\langle 3 \rangle}^0 = \{r_{\langle 3 \rangle_j}^0 : j = \overline{1, M}\}$, j — номер отношения.

Таким образом, $I_p = p(\hat{y}_{\langle 3 \rangle_i}, r_{\langle 3 \rangle_j}^0, y_{\langle 3 \rangle_k}^0)$ — это значение вероятности того, что указанный в скобках предикат примет значение «истина» или это значение того, что соответствующее ему (предикату) случайное событие наступит.

2. *Схема оценивания потенциала I_{oc} СТС.* Первая рассмотренная схема оценивания I_p — вид (второй) схемы I_{oc} — значения отображения p_{oc} :

$$p_{oc} : \hat{Y}_{\langle 3 \rangle}(t) \times R_{\langle 3 \rangle}^0 \times \hat{Y}_{\langle 3 \rangle}(t), t_0, T \rightarrow [0, 1], \text{ в котором:}$$

$\hat{Y}_{\langle 3 \rangle}(t)$ — случайный процесс, моделирующий изменения эффектов $\hat{y}_{\langle 3 \rangle_i}(t)$ функционирования СТС во времени t .

$\hat{Y}_{\langle 3 \rangle}^0(t)$ — случайный процесс, моделирующий возможные случайные изменения $Y_{\langle 3 \rangle}^0$ во времени (что соответствует возможным из-

менениям цели функционирования системы в результате изменений среды СТС):

$$\hat{y}_{<3>k}^0 = \hat{y}_{<3>k}^0(t_0), t_0 \text{ — момент начала функционирования,}$$

T — плановая длительность функционирования системы.

При изменении требований (переходе от достижения одной цели к другой) предполагается, что СТС переходит к достижению новой цели без существенных затрат ресурсов на переходные действия u .

Таким образом, $I_{oc} = P_{oc}(\hat{y}_{<3>i}^0(t;u), r_{<3>j}^0, y_{<3>k}^0(t)), t \in [t_0, t_0 + T]$ —

это значение вероятностной меры того, что прогнозируемые (виртуальные) значения эффектов функционирования заданной СТС с учетом изменяющихся целей будут соответствовать требуемым значениям эффектов на плановом отрезке времени функционирования СТС.

Если $t = t_0$ — константа, то изменения целей не реализуются и поэтому $I_p = I_{oc}$.

3. *Схема оценивания операционных свойств I_{ocn} СТС, совершенствуемых при ИСФ.* В этом случае при реализации функционирования в условиях ИСФ в зависимости от изменяющихся состояний s СТС и ее среды, проверяемых с помощью тех или иных информационных действий (в соответствии с заданной ИТ) в заданные моменты времени, число которых конечно, инициируются и реализуются действия $u_z(s)$ по совершенствованию СТС и ее функционирования и действия переходных процессов. Такие действия инициируются и уточняются (выбираются) в результате информационных действий (в соответствии с той или иной ИТ) в связи с изменениями состояний СТС (зафиксированными в результате проверки состояний) или (и) для достижения изменившейся цели с учетом изменившихся состояний s среды СТС, проверенными в заданные моменты времени при достижении целей. Действия переходных процессов дают два вида целевых эффектов: (1) информация о состояниях и инициированных (выбранных) действиях «целевого» процесса и по его изменению — при реализации информационных действий и (2) выполнения переходных действий к измененному функционированию — при реализации неинформационных действий. При этом на реализацию таких переходных действий тратятся ресурсы. Функция $u_z(s)$ реализуется с использованием ИТ z и при изменении аргумента s (состояния СТС и среды) дает значение, описывающее состав и характеристики действий.

При этом рассмотренная выше (вторая) схема оценивания потенциала I_{oc} — вид (третьей) схемы оценивания $I_{ocn} = p_{ocn}(t, u_z(s))$ — значения отображения p_{ocn} :

$p_{ocn} : \hat{Y}_{<3>}(u_z(s), t) \times R_{<3>}^0 \times \hat{Y}_{<3>}^0(t), t_0, T \rightarrow [0, 1]$, в котором $u_z(s)$ — характеристики переходных действий в зависимости от состояния $s \in S$ СТС и ее среды при функционировании, проверяемые с использованием заданной ИТ Z .

S — совокупность возможных состояний СТС и ее среды при функционировании.

На основе S задаются деревья исходов при функционировании СТС и ее среды $T_z \subseteq S \times S$, с вершинами которых ассоциированы возможные состояния s СТС и ее среды при функционировании с использованием заданной ИТ z , а с дугами — переходы между этими состояниями в результате действий, в том числе переходных $u_z(s)$.

$\hat{Y}_{<3>}(u_z(s), t)$ — характеристики случайного процесса получения эффектов в результате реализации последовательностей действий целевого функционирования и переходных процессов от одного функционирования к другому при заданных возможных состояниях (характеризуемых деревом T_z , введенным выше). Таким образом,

$I_{ocn} = p_{ocn}(\hat{Y}_{<3>}(u_z(s), t; z), r_{<3>}^0, y_{<3>}^0(t)), t \in [t_0, t_0 + T]$ — значение вероятности того, что прогнозируемые значения эффектов функционирования СТС в заданные моменты времени, с учетом реализации переходных процессов в зависимости от состояний СТС и ее среды при функционировании будут требуемым образом соответствовать (изменяющимся) требуемым значениям эффектов.

6. Примеры использования схем оценивания операционных свойств. Рассмотрим три примера использования схем оценивания ОС — так, чтобы полученные в одном примере результаты использовались бы в последующих примерах. При этом первый пример соответствует оцениванию ОС функционирования СТС для достижения одной заданной цели, которая не меняется, как не меняется и СТС или технологические операции (ГлОп) ее функционирования. А именно исход функционирования среды на границе СТС один и имеет вид одного требуемого состояния к моменту окончания функционирования. Планируемый исход функционирования СТС тоже один. Функционирования планируется и оценивается к своему окончанию в соответствии с календарным планом функционирования для достижения заданной цели. При этом возможные воздействия среды на элементы при функционировании среды тоже заданы и не ме-

няются, от этих воздействий зависят результаты (эффекты) функционирования, но не состав ТлОп. Тем самым рассматривается одно функционирование по заданному календарному плану. ОС такого функционирования (эффективность) и исследуется. Показатель эффективности такого функционирования рассчитывается, как вероятность случайного события, состоящего в соответствии прогнозируемых (для заданного календарного плана функционирования) эффектов к окончанию функционирования, с одной стороны, требованиям к эффектам по окончании функционирования — с другой. Функционирование среды задано законами распределения характеристик результатов ТлОп и характеристиками требований к эффектам при достижении заданной цели.

Рассмотрим второй пример, соответствующий оцениванию ОС СТС, которая может функционировать в зависимости от исходов функционирования среды на границе СТС (которых может быть несколько) для достижения разных целей в разных последовательностях их достижения. При этом каждый действительный исход функционирования среды и СТС (последовательность состояний и событий на границе с СТС) построен для одной последовательности частично достижимых целей (на границе среды и СТС). Одной такой последовательности на границе среды с СТС сопоставлено несколько возможных исходов функционирования, каждый из которых проявляется при каких-либо событиях, вызванных средой на границе с СТС и (или) на границе с элементами СТС.

Каждому исходу функционирования соответствует заданное календарным планом функционирование по достижению нескольких смежных друг друга целей. Тем самым исходу функционирования сопоставлена последовательность из «целевых» функционирований и «переходных» функционирований с учетом событий, вызванных средой на границе с СТС. Исход функционирования оценивается аналогично тому, как и в первом примере — с использованием эффективности функционирования, но по достижению заданной последовательности целей (не только одной, как в первом примере), и так же, как и в первом примере, к заданному моменту окончания функционирования СТС. Множеству же исходов функционирования сопоставлен показатель потенциала СТС.

Наконец, третий пример соответствует оцениванию ОС СТС в том случае, когда исходу функционирования сопоставлен вектор показателей, каждый из которых характеризует приспособленность функционирования давать требуемые результаты к заданным моментам времени проверки состояний СТС и ее среды.

Элементы таких векторов рассчитываются аналогично первому примеру как меры соответствия прогнозируемых эффектов (при из-

вестном исходе функционирования и к заданному моменту) требованиям к ним (в тех же условиях).

При этом:

$$W_i(C_i, C_u^0) = \prod_{j=1, J} P(\tilde{Y}_{j,i}(C_i) \leq Y_{j,i}^0(C_i, C_u^0)), \text{ где:}$$

P — вероятность наступления случайного события;

$\tilde{Y}_{j,i}(C_i)$ — значение j -го эффекта функционирования к окончанию C_i . Например, затраты времени персонала на реализацию комплекса работ, затраты электроэнергии.

$\tilde{Y}_{j,i}^0(C_i, C_u^0)$ — директивные (требуемые) значения эффектов функционирования при исходе функционирования СТС C_i и исходе функционирования среды C_u^0 ;

$W_i(C_i, C_u^0)$ — вероятность удовлетворения требований при исходе функционирования СТС C_i и единственном заданном исходе функционирования среды — C_u^0 .

Обозначим C_i — i -й исход функционирования СТС. Под ним будем понимать возможную последовательность реализаций мероприятий функционирования СТС, он ассоциирован с ветвью дерева исходов;

$T_c(C_u^0, h)$ — дерево возможных исходов, ветви которого $\{C_i, i = \overline{1, I}\}$ — исходы функционирования СТС и ее среды. Дерево построено для заданной последовательности C_u^0 директивных состояний, сформированных на границе СТС и ее среды (исхода функционирования среды на границе с СТС) и для заданной ИТ h из множества H возможных ИТ.

Таким образом, известно отображение $C_u^0 \rightarrow T_c(C_u^0, h)$ для любой C_u^0 и, следовательно, отображение $T_i^{Cp}(h) \rightarrow \{T_c(C_u^0, h), u = \overline{1, U}\}$.

Здесь $T_i^{Cp}(h) = \{C_u^0(h), u = \overline{1, U}\}$ — дерево сценариев функционирования на границе среды и системы, состоящее из U веток дерева, каждая из которых ассоциирована своими C_u^0 .

Пусть исходы C_u^0 функционирования среды на границе с СТС предполагаются заданными возможными воздействиями среды на элементы ГлОп и требуемыми по завершении C_i эффектами.

Деревья исходов функционирования среды на границе СТС и исходов функционирования СТС строятся на этапе планирования в зависимости от: возможных ТИО, используемой h -й ИТ и состояний на границе среды; связей ТИО и ТНИО, в соответствии с используемой технологией; изменений состояний СТС.

В результате реализации каждого исхода функционирования среды C_u^o на границе с СТС и каждого исхода функционирования СТС C_i с использованием h -й ИТ складывается разное соответствие (на границе СТС и ее среды). Те ИТ, которые обеспечивают лучшее (из возможных) соответствие на границе СТС и среды и следует считать предпочтительными. Пусть: $p_i(C_i, C_u^o) = \prod_{k: e_{i,k} \in C_i(C_u^o)} p_{i,k}(C_i)$ — вероятность p_i

реализации заданного при h -й ИТ исхода C_i функционирования СТС при условии, что исход на границе среды и СТС C_u^o тоже задан h -й ИТ.

В примере предполагается, что эта вероятность может быть рассчитана как произведение вероятностей $p_{i,k}(C_i)$ реализации исходов мероприятий, входящих в C_i при C_u^o и заданной h -й ИТ, то есть исходы мероприятий независимы.

Оценивать результаты комплекса ТлОп с использованием заданной h -й ИТ следует по всем возможным исходам функционирования СТС и всем возможным исходам функционирования на границе СТС и среды. Этому требованию, в частности, удовлетворяет скалярный показатель потенциала СТС — функция потенциала [1] при использовании h -й ИТ:

$$\psi(T_l^{Cp}(h)) = \sum_{C_u^o \in T_l^{Cp}(h)} \psi_u(T_c(C_u^o, h)) \cdot p_u(C_u^o, h);$$

$$\psi_u(T_c(C_u^o, h)) = \sum_{C_i \in T_c(C_u^o, h)} (W_i(C_i, C_u^o) \cdot p_i(C_i, C_u^o)).$$

Пусть теперь имеется две ИТ, h («новая») и f («старая»). Для них построены c -е и p -е деревья исходов $T_c(C_u^o, h)$ и $T_p(C_u^o, f)$ для каждого исхода C_u^o функционирования среды на границе, ассоциированного с деревьями $T_l^{Cp}(h)$ и $T_m^{Cp}(f)$.

Определим разность значений функции потенциала СТС при реализации новой и старой ИТ:

$$\Delta\psi(h, f) = \psi(T_l^{Cp}(h)) - \psi(T_m^{Cp}(f)).$$

Эта разность характеризует ОС использования «новой» ИТ по сравнению со «старой». Она может быть использована как *показатель результативности внедрения новой ИТ. Целевой эффект (результат) внедрения* — лучшая приспособленность $\psi(T_l^{Cp}(h))$ к достижению целей в условиях изменяющихся воздействий со стороны среды.

В рассматриваемом случае приспособленность измеряется скалярном (рассчитываемым как вероятностная смесь). В общем случае векторный показатель потенциала может быть представлен как векторная случайная величина $\tilde{\Psi}(T_l^{Cp}(h))$, математическое ожидание которой и задает скалярный показатель $\psi(T_l^{Cp}(h))$.

Тогда, если задано директивное значение $\Psi^{\partial}(T_l^{Cp}(h))$, то показатель результативности внедрения h -й ИТ может быть задан как:

$$W^{Pez}(h) = P(\tilde{\Psi}(T_l^{Cp}(h)) > \Psi^{\partial}(T_l^{Cp}(h))).$$

Показатель результативности должен быть сопоставлен с *обеспечивающими* (получение целевого эффекта внедрения ИТ) *эффектами*. Это целесообразно сделать с использованием показателя *эффективности внедрения* новой ИТ.

Пусть в показателе эффективности внедрения новой ИТ целевой эффект описывается скалярным показателем результативности h -й ИТ по сравнению с f -й ИТ — $\Delta\psi(h, f)$. Для последующего расчета показателя эффективности внедрения h -й ИТ следует рассчитать еще и показатели оперативности и ресурсоемкости ее внедрения.

Рассмотрим пример обеспечивающих эффектов, необходимых для внедрения h -й ИТ на смену f -й ИТ. Для упрощения примера ограничимся двумя обеспечивающими эффектами (по одному для расчета показателя оперативности и ресурсоемкости):

– случайным моментом времени $\tilde{T}(h)$, к которому может быть внедрена h -я ИТ;

– случайной величиной стоимости $\tilde{C}(h)$ внедрения h -й ИТ.

Требования к этим результатам будем для простоты считать детерминированными константами T^o и C^o соответственно, а отношение соответствия примем имеющим вид «обеспечивающий эффект не больше требования». Тогда эффективность внедрения h -й ИТ может быть оценена с использованием следующего показателя [1]:

$$W(h, f) \equiv \Delta\psi(h, f) \cdot Poss\left(\left(\tilde{C}(h) \leq C^o\right) \cap \left(\tilde{T}(h) \leq T^o\right)\right).$$

Здесь $Poss\left(\tilde{T}(h) \leq T^o\right)$ — показатель оперативности внедрения в практику h -й ИТ; $Poss\left(\tilde{C}(h) \leq C^o\right)$ — показатель ресурсоемкости внедрения этой ИТ на смену f -й ИТ.

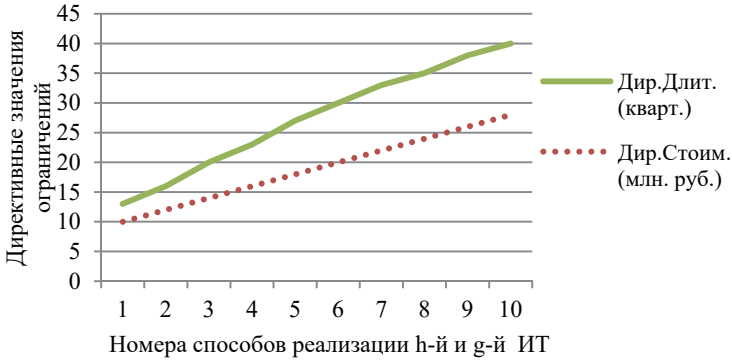
Рассмотрим примеры расчетных значений показателей ОС внедрения h -й и g -й ИТ при разных ограничениях на внедрение ИТ для случая, когда показатель результативности внедряемой ИТ — скаляр и требования к результатам внедрения детерминированы. В примере рассмотрены 10 способов выполнения двух ИТ (g -й и h -й). Каждый из 10 способов характеризуется одними и теми же ограничениями для g -й и h -й ИТ (рисунок 1а) соответственно.

Расчетные значения показателей оперативности, ресурсоемкости, результативности и комплексный показатель эффективности внедрения ИТ для 10-ти способов внедрения h -й ИТ показаны на рисунке 1б, для g -й ИТ — на рисунке 1с. Показатели эффективности внедрения для всех 10 способов h -й и g -й ИТ показаны на рисунке 1д. Как видно из полученных результатов, для разных ограничений по ресурсам лучшей эффективностью внедрения могут характеризоваться разные внедряемые ИТ.

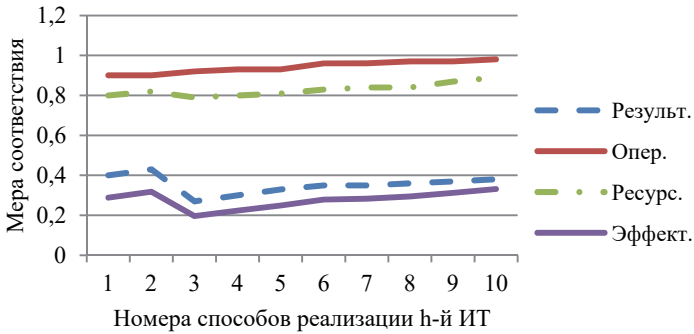
Для случая векторного показателя результативности внедрения h -й ИТ показатель эффективности внедрения h -й ИТ примет вид:

$$W(h, f) \equiv Poss\left(\tilde{\Psi}(h) > \Psi^o\right) \cap \left(\tilde{C}(h) \leq C^o\right) \cap \left(\tilde{T}(h) \leq T^o\right).$$

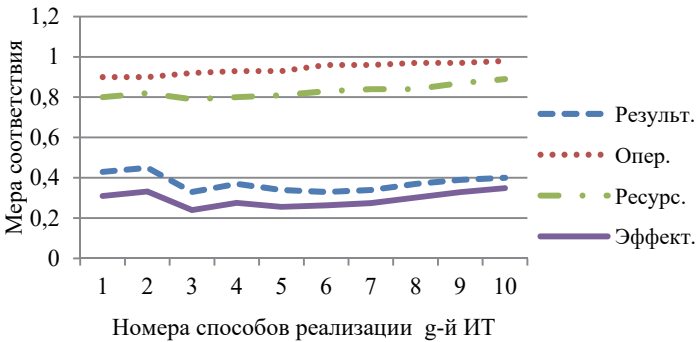
Возможны разные виды особенностей предъявления требований к результатам функционирования в зависимости от особенностей исходов функционирования среды и соответствующих им исходов функционирования СТС C_i .



a)

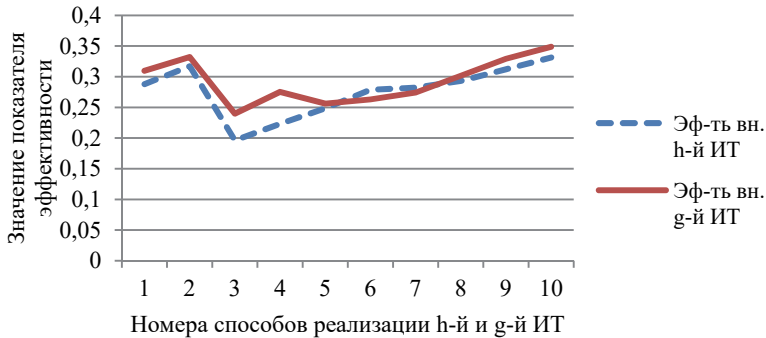


b)



c)

Рис. 1. Примеры расчетных значений показателей ОС внедрения h-й и g-й ИТ при разных ограничениях (а, b, с)



d)

Рис. 1. Примеры расчетных значений показателей ОС внедрения h-й и g-й ИТ при разных ограничениях (d)

Рассмотрим сначала вид предъявления требований к результатам, когда требования предъявляются единожды, по завершении функционирования. В этом случае достижение цели оценивается как соответствие требуемых средой состояний СТС прогнозируемому состоянию СТС *по завершении функционирования СТС*.

В этом случае мера соответствия рассчитывается как *вероятность попадания случайного вектора эффектов (к окончанию функционирования) в требуемую область*.

Пусть теперь следует учитывать *частичные достижения цели* — такие состояния, которые требуются для дальнейшего достижения цели. Такая необходимость, например, возникает в случае исследования изменяющихся целей.

Частичное достижение цели описывают как соответствие состояний СТС и среды в такие моменты времени, когда реализуется проверка состояния — информационная операция на границе СТС и среды. Оценивание соответствия в текущий момент времени — оценка действительного соответствия. Прогнозирование оценки соответствия в будущие моменты времени — оценка возможного соответствия. Последовательность таких соответствий — реализация соответствия на границе СТС и среды. Каждому возможному исходу функционирования на границе СТС и среды и исходу C_i функционирования СТС сопоставлена одна последовательность мер соответствия. Вероятностную меру реализации такой последовательности можно использовать, как меру удовлетворения требований. В результате можно корректно оценить показатели потенциала для случая изменяющихся целей.

7. Заключение. На основе краткого анализа особенностей исследования эффективности целенаправленных процессов функционирования систем и ряда других ОС отечественными и зарубежными авторами сделан вывод об актуальности решения современных задач исследования ОС с учетом изменений: среды, последующих изменений цели функционирования СТС, изменений СТС и ее функционирования в результате воздействий среды, а затем — изменений функционирования для достижения изменившейся цели и устранения несоответствий функционирования требованиям. Показано, что такое исследование следует выполнять на основе оценивания показателей ОС за счет вскрытия аналитических закономерностей проявления эффектов в условиях указанных изменений. Приведены особенности актуальных задач исследования ОС: задач исследования ОС совершенствуемых СТС и задач исследования ОС использования ИТ. Предложена последовательность схем оценивания ОС, составляющая основу метода аналитического оценивания ОС. Рассмотрен пример расчета показателей операционных свойств использования информационных технологий.

Полученные результаты должны позволить перейти к решению задач исследования ОС на аналитических математических моделях в соответствии с предложенными схемами оценивания ОС.

Литература

1. *Колмогоров А.Н.* Число попаданий при нескольких выстрелах и общие принципы оценки эффективности системы стрельбы // Сборник статей по теории стрельбы. Тр. Матем. ин-та им. В. А. Стеклова. М.-Л. 1945. № 12. С. 7–25.
2. *Вентцель Е.С., Лихтерев Я.М., Мильграм Ю.Г., Худяков И.В.* Основы теории боевой эффективности и исследования операций // М.: ВВИА имени Н.Е. Жуковского. 1961. 524 с.
3. *Аверкина Г., Эпштейн Г.* Писатель И. Грекова — профессор Е. С. Вентцель // Новый Мир. 2008. № 4.
4. *Иоффе А.Я. и др.* Вероятностные методы в прикладной кибернетике // Л. 1976. 424 с.
5. *Морозов Л.М., Петухов Г.Б., Сидоров В.Н.* Методологические основы теории эффективности // Л. 1979. 174 с.
6. *Петухов Г.Б.* Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1. Методология, методы, модели // 1989. 647 с.
7. *Петухов Г.Б., Якунин В.И.* Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем // М.: АСТ. 2006. 504 с.
8. *Авдуевский В.С.* Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. // М.: Машиностроение. 1986. Т. 3. 328 с.
9. *Дубровский В., Ковбич М.* Дела и дни академика Уткина, конструктора «Сатань». Человек, создавший наивысшее техническое достижение XX века // Независимая газета. 2013. URL: http://www.ng.ru/science/2013-10-23/10_utkin.html (дата обращения 18.04.2018).
10. *Крочков Ю.И., Кузнецов В.И.* Исследования эффективности вооружения // М.: ВА РВСН им. Ф.Э. Дзержинского. 1980.
11. *Волков Е.Б. и др.* Технические основы эффективности ракетных систем // М.: Машиностроение. 1989.

12. *Ролдугин В.Д.* Моделирование и оценка эффективности боевых действий РВСН. // М.: ВА РВСН имени Ф.Э. Дзержинского. 2005.
13. *Крючков Ю.В., Кузнецов В.И., Охотников Г.Н.* Моделирование и оценка эффективности боевых действий и вооружения ракетных войск стратегического назначения // М.: ВА РВСН имени Ф.Э. Дзержинского. 1986. 627 с.
14. *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.: Воениздат. 1995. 368 с.
15. *Викулов С.Ф.* Военно-экономический анализ: история, методология, проблемы // Вооружение и экономика. 2012. № 4(20). С. 86–98.
16. *Груцанский В.А., Ильичев А.В., Нгуен К.Т.* Формализация показателей эффективности и безопасности комплексных программ в условиях неопределенности // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 7. С. 33–37.
17. *Podinovskiy V.* Non-dominance and potential optimality for partial preference relations // European Journal of Operational Research. 2013. vol. 229. pp. 482–486.
18. *Ryabinin I.A.* Logical probabilistic analysis and its history // International journal of risk assessment & management. Proquest ABI/INFORM. 2015. vol. 18. no. 3-4. pp. 256–265.
19. *Гейда А.С., Исмаилова З.Ф., Клитный И.В., Лысенко И.В.* Задачи исследования операционных и обменных свойств систем // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 4(35). С. 136–160.
20. *Гейда А.С., Лысенко И.В.* Задачи исследования потенциала социально-экономических систем // Труды СПИИРАН. 2009. № 10. С. 63–84.
21. *Гейда А.С., Лысенко И.В., Юсупов Р.М.* Основные концепты и принципы исследования операционных свойств использования информационных технологий // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 5(42). С. 5–36.
22. *Юсупов Р.М., Мусаев А.А.* К оцениванию эффективности информационных систем: методологические аспекты // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 5. С. 323–332.
23. Руководство к своду знаний по управлению проектами – PMBOK 5 (финальная полная русская версия) // М. Олимп-Бизнес. 2014. 590 с.
24. *McMahon P.* 15 Fundamentals for Higher Performance in Software Development: Includes discussions on CMMI, Lean Six Sigma, Agile and SEMAT's Essence Framework // Pem Systems Publ. 2014. 336 p.
25. ИБА. A Guide to Business Analysis Body of Knowledge (BABOK 2.0) // 2015. 502 p.
26. *Шадунова М.* Свод знаний по управлению бизнес-процессами: BPM СВОК 3.0/BPM СВОК Version 3.0: Guide to the Business Process Management Common Body of Knowledge // М. Альпина Паблишер. 2016. 640 с.
27. *Taylor J., Purchase J.* Real-World Decision Modeling with DMN // Meghan-Kiffer Press. 2016. 437 p.
28. *Kendrick T.* How to Manage Complex Programs // AMACOM. 2016. 336 p.
29. *Dinsmore T.W.* Disruptive Analytics: Charting Your Strategy for Next-Generation Business Analytics // Apress. 2016. 276 p.
30. The Agile Extension to the BABOK® Guide. International Institute of Business Analysis (ИБА). 2015. 128 p.
31. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK). Version 3.0 // IEEE Computer society. 2004. 335 p.
32. *Blokdyk G.* COBIT 5: The Ultimate Step-By-Step Guide // 5STARCOoks. 2018. 124 p.
33. *Zidane Y., Olsson N.* Defining project efficiency, effectiveness and efficacy // International Journal of Managing Projects in Business. 2017. vol. 10. Issue 3. pp. 621–641.
34. *Carvalho M., Takao S., Silva D.* Efficiency and Effectiveness Analysis of Public Transport of Brazilian Cities // Journal of Transport Literature. 2015. vol. 9(3). pp. 40–44.

35. *Mesterova J., Prochazka J., Vaculik J., Smutny P.* Relationship between Self-Efficacy, Transformational Leadership and Leader Effectiveness // *Journal of Advanced Management Science*. 2015. vol. 3. no. 2. pp. 109–122.
36. *Nordon C. et al.* The «Efficacy-Effectiveness Gap»: Historical Background and Current Conceptualization // *Value in Health*. 2016. vol. 19. Issue 1. pp. 75–81.
37. *Docekalova M., Kocmanova A.* Evaluation of the Effectiveness of Manufacturing Companies by Financial and Non-financial Indicators // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. vol. 213(1). pp. 491–496.
38. *Hwangbo H., Johnson A.L., Ding Y.* A Production Economics Analysis for Quantifying the Efficiency of Wind Turbines // *Wind Energy*. 2017. vol. 20(9). pp. 1501–1513.
39. *Lee C-Y., Johnson A.L.* Effective production: measuring of the sales effect using data envelopment analysis // *Annals of Operations Research*. 2015. vol. 235(1). pp. 453–486.
40. *Lanzaa G. et al.* Measuring Global Production Effectiveness // *Procedia CIRP* 7. 2013. pp. 31–36.
41. *Eswaramurthi K., Mohanram P.* Improvement of Manufacturing Performance Measurement System and Evaluation of Overall Resource Effectiveness // *American Journal of Applied Sciences*. 2013. vol. 10(2). pp. 131–138.
42. *Azad M., Jafarian M., Farzipoor R., Mirhedayatian S.* A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context // *Computers&Operations Research*. 2015. vol. 54. pp. 274–285.
43. *Førsund F.* Measuring effectiveness of production in the public sector // *Omega*. 2017. vol. 73. pp. 93–103.
44. *Scott M., DeLone W., Golden W.* Measuring eGovernment success: a public value approach // *European Journal of Information Systems*. 2016. vol. 25(3). pp. 187–208.
45. *Bayne L., Schepis D., Purchase S.* A framework for understanding strategic network performance: Exploring efficiency and effectiveness at the network level // *Industrial Marketing Management*. 2017. vol. 67. pp. 134–147.
46. *Stojic N., Hashi I., Orlic E.* Creativity, innovation effectiveness and productive efficiency in the UK // *European Journal of Innovation Management*. 2018. pp. 1460–1060.
47. *Yang Z., Yong S., Hong Y.* Scale, congestion, efficiency and effectiveness in e-commerce firms // *Electronic Commerce Research and Applications*. 2016. vol. 20. pp. 171–182.
48. *Matinheikki Y., Pesonen T., Artto K., Peltokorpi A.* New value creation in business networks: The role of collective action in constructing system-level goals // *Industrial Marketing Management*. 2017. vol. 67. pp. 122–133.
49. *Yang Z., Yong S., Hong Y.* Analysis on pure e-commerce congestion effect, productivity effect and profitability in China // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2017. vol. 57. pp. 35–49.
50. *Garza-Reyes J.* From measuring overall equipment effectiveness (OEE) to overall resource effectiveness (ORE) // *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2015. vol. 21(4). pp. 506–527.
51. *Shelly P., Straub D., Liang T.* How Information Technology Governance Mechanisms and Strategic Alignment Influence Organizational Performance: Insights from a Matched Survey of Business and IT Managers // *MIS Quarterly*. 2015. vol. 39. pp. 497–518.
52. *Mikalef P., Pateli A.* Information technology-enabled dynamic capabilities and their indirect effect on competitive performance: Findings from PLS-SEM and fsQCA // *Journal of Business Research*. 2017. vol. 70. pp. 1–16.
53. *Wetering V., Mikalef P., Adamantia P.* A strategic alignment model for IT flexibility and dynamic capabilities: Toward an assessment tool // *Twenty-Fifth European Conference on Information Systems (ECIS)*. 2017. pp. 1–17.
54. *Laaksonen O., Peltoniemi M.* The essence of dynamic capabilities and their measurement // *International Journal of Management Reviews*. *British Academy of Management*. 2018. vol. 20(2). pp. 184–205.

55. *Schilke O., Hu S., Helfat C.* Quo vadis, dynamic capabilities? A content-analytic review of the current state of knowledge and recommendations for future research // Academy of Management Annals. 2018. vol. 12. no. 1. pp. 390–439.

Ашимов Абдыкаппар Ашимович — д-р техн. наук, профессор, академик Национальной академии наук Республики Казахстан, заведующий лабораторией системного анализа и управления, Институт проблем информатики и управления Министерства образования и науки Республики Казахстан. Область научных интересов: теория систем управления, техническая кибернетика, теория идентификации, теория усреднения стандартных дифференциальных уравнений. Число научных публикаций — 200. ashimov37@mail.ru; ул. Пушкина, 125, Алматы, 480100; р.т.: +7(727)272-83-05, Факс: +7(727)291-18-28.

Гейда Александр Сергеевич — к-т техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: анализ и синтез организационно-технических, социально-экономических систем, оценивание эффективности их функционирования, потенциала организационно-технических и социально-экономических систем в условиях риска. Число научных публикаций — 131. geida@iias.spb.su, http://www.mathnet.ru/php/person.phtml?personid=58804&option_lang=rus; 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7(812)328-3257, Факс: +7(812)328-4450.

Лысенко Игорь Васильевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией информационно-аналитических технологий в экономике, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (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 — 255. ilys@iias.spb.su; 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7(812)328-3257, Факс: +7(812)328-4450.

Юсупов Рафаэль Мидхатович — д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки и техники РФ, научный руководитель, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), президент, НП Национальное общество имитационного моделирования («НОИМ»). Область научных интересов: теория управления, информатика, моделирование, теоретические основы информатизации и информационного общества, информационная безопасность. Число научных публикаций — 390. spiiiran@iias.spb.su; 14 линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7-812-328-3311, Факс: +7(812)328-4450.

Поддержка исследований. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-08-00953 и 15-08-01825.

A.A. ASHIMOV, A.S. GEIDA, I.V. LYSENKO, R.M. YUSUPOV
**SYSTEM FUNCTIONING EFFICIENCY AND OTHER SYSTEM
OPERATIONAL PROPERTIES: RESEARCH PROBLEMS,
EVALUATION METHOD**

Ashimov A.A., Geida A.S., Lysenko I.V., Yusupov R.M. System Functioning Efficiency and Other System Operational Properties: Research Problems, Evaluation Method.

Abstract. The short historical sketch of researches of efficiency of systems functioning purposeful processes is given in this paper. The review of some relevant research problems of the operational properties solved abroad is provided.

On the basis of the analysis of features of efficiency research of systems functioning purposeful processes, as well as research of other operational properties, such as effectiveness, performance, operational and dynamic capabilities by domestic and foreign authors, the conclusion is drawn on relevance of the solution of some modern research problems on the basis of analytical estimation of operational properties indicators. A number of new systems and processes of their functioning operational properties researches directions is given. Among them, there are system capability (potentiality) and information technologies capability. Features of agile (dynamical, improved due to environment impact) systems and processes of their functioning, a role of information technologies are considered during functioning of such agile systems.

Main features of systems improvement and details of transition processes of such systems functioning improvement are described. The role of information technologies for systems improvement is discussed. The obtained results allowed to conduct research of operational properties of the improved systems, research of information technologies usage during system functioning. Examples of models of the improved system functioning effects formation are offered. Such models are developed taking into account the realization of information and non-information actions during the improved system functioning.

For the unified estimation of indicators of operational properties the method of analytical estimation of operational properties is offered. This method is based on the sequence of operational properties estimation schemes use. The sequence of the three schemes of operational properties estimation, which allows to estimate all described operational properties. Features of estimation of systems operational properties using the offered estimation method are revealed. The obtained results should allow to proceed to the solution of research problems of systems operational properties based on mathematical models use. An example of operational properties of information technology use indicators calculation is provided.

Keywords: efficiency, effectiveness, potential, operational properties, capability, dynamic capability, information technology capability, agile systems, evolving systems, purposes, indicators, models, modeling, method.

Ashimov Abdykappar Ashimovich — Ph.D., Dr. Sci., professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, head of systems analysis and control laboratory, Institute of Problems of Informatics and Control of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Research interests: theory of control systems, technical cybernetics, theory of identification, theory of the standard differential equations averaging. The number of publications — 200. ashimov37@mail.ru; 125 Pushkin str., Almaty, 480100, Republic of Kazakhstan; office phone: +7(727)272-83-05, Fax: +7(727)291-18-28.

Geida Alexander Sergeevich — Ph.D., assistant professor, senior researcher of laboratory for information-analytic technologies for economics, St. Petersburg Institute for Informatics and

Automation of the Russian Academy of Sciences (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 — 131. geida@iias.spb.su, http://www.mathnet.ru/php/person.phtml?personid=58804&option_lang=rus; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-3257, Fax: +7(812)328-4450.

Lysenko Igor Vasilievich — Ph.D., Dr. Sci., professor, head of laboratory for information-analytic technologies for economics, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: modeling, information-analytic technologies, economic analysis of techno-organizational systems functioning, fuzzy numbers theory and applications. The number of publications — 255. ilyas@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-3257, Fax: +7(812)328-4450.

Lysenko Igor Vasilievich — Ph.D., Dr. Sci., professor, head of laboratory for information-analytic technologies for economics, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: modeling, information-analytic technologies, economic analysis of techno-organizational systems functioning, fuzzy numbers theory and applications. The number of publications — 255. ilyas@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-3257, Fax: +7(812)328-4450.

Acknowledgements. This research is supported by RFBR (grants 16-08-00953 and 15-08-01825).

References

1. Kolmogorov A.N. [The number of hits for several shots and general principles of assessment of firing system effectiveness]. *Sbornik statej po teorii strel'by. Trudy Matemat. instituta im. V.A. Steklova – Collection of articles on the theory of firing. Steklov Mathematical Institute*. Moscow – Leningrad. 1945. vol. 12. pp. 7–25. (In Russ.).
2. Wentsel E.S, Likhterev Y.M, Milgram U. G, Khudyakov I.V. *Osnovy teorii boevoj ehffektivnosti i issledovaniya operatsij* [Basics of fighting efficiency and operations research]. Moscow: Zhukovskiy Air Force Engineering Academy. 1961. 524 p. (In Russ.).
3. Averkina G., Epshtein G. [Writer I. Grekova — professor E. S. Wentsel]. *Novyy Mir–New World*. 2008. vol. 4. (In Russ.).
4. Ioffe A.Ya. et al. *Veroyatnostnye metody v prikladnoj kibernetike* [Probabilistic Methods in Applied Cybernetics]. Leningrad. 1976. 424 p. (In Russ.).
5. Morozov L.M, Petukhov G.B, Sidorov V.N. *Metodologicheskie osnovy teorii ehffektivnosti* [Methodological basis of the effectiveness theory]. Leningrad. 1979. 174 p. (In Russ.).
6. Petukhov G.B. *Osnovy teorii ehffektivnosti tselenapravlennykh protsessov. Chast' 1. Metodologiya, metody, modeli* [Basics of the theory of efficiency of targeted processes. Part 1. Methodology, methods and models]. 1989. 647 p. (In Russ.).
7. Petukhov G.B, Yakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlennykh sistem* [Methodological basis of external designing of targeted processes and purposeful systems]. Moscow. AST. 2006. 504 p. (In Russ.).
8. Avduyevskiy V.S. *Nadezhnost' i ehffektivnost' v tekhnike: spravochnik v 10 t* [Reliability and efficiency in engineering: a guidebook in 10 volumes]. Moscow: Mechanical Engineering. 1988. Issue 3. 328 p. (In Russ.).

9. Dubrovskij V., Kovbich M. [Affairs and days of Academician Utkin, the designer of "Satan". The man who created the highest technical achievement of the twentieth century]. Available at: www.ng.ru/science/2013-10-23/10_utkin.html (accessed: 18.04.2018). (In Russ.).
10. Kryuchkov. U.I, Kuznetsov V.I. *Issledovaniya ehffektivnosti vooruzheniya* [Research on effectiveness of weapons]. Moscow: Dzerzhinsky Military Academy of Russian Strategic Missile Forces. 1980. (In Russ.).
11. Volkov E.B. et al. *Tekhnicheskie osnovy ehffektivnosti raketnykh sistem* [Engineering bases of efficiency of missile systems]. Moscow: Mechanical Engineering. 1989. (In Russ.).
12. Roldugin V.D. *Modelirovanie i otsenka ehffektivnosti boevykh dejstvij RVSN* [Simulation and evaluation of the Strategic Missile Forces fighting. Textbook]. Moscow: Dzerzhinsky Military Academy of Russian Strategic Missile Forces. 2005. (In Russ.).
13. Kryuchkov. Y.V, Kuznetsov. V.I, Okhotnikov G.N. *Modelirovanie i otsenka ehffektivnosti boevykh dejstvij i vooruzheniya raketnykh vojsk strategicheskogo naznacheniya* [Simulation and evaluation of military operations and weapons of Strategic Missile Forces]. Moscow. Dzerzhinsky Military Academy of Russian Strategic Missile Forces. 1986. 627 p. (In Russ.).
14. Lysenko I.V. *Analiz i sintez slozhnykh tekhnicheskikh sistem. Chast' 1. Analiz i sintez si-stem obespecheniya gotovnosti raket-nositelej i kosmicheskikh apparatov k zapusku (osnovy teorii)* [Analysis and synthesis of elaborate engineering systems. Part 1: Analysis and synthesis of systems providing readiness to launch and space vehicles for launching (theory basics)]. Moscow. Voenizdat. 1995. 368 p. (In Russ.).
15. Vikulov S.F. [Military-economic analysis: history, methodology, problems]. *Vooruzhenie i ehkonomika – Armament and Economics*. Moscow. 2012. vol. 4(20). pp. 86–98. (In Russ.).
16. Grushanskiy V.A., Ilyichev A.B., Thyong N. [Efficiency and Security indicators of public programs formalization under uncertainty conditions]. *Nelinejnij mir – Nonlinear world*. 2014. vol. 12(7). pp. 33–37. (In Russ.).
17. Podinovskiy V. Non-dominance and potential optimality for partial preference relations. *European Journal of Operational Research*. 2013. vol. 229. pp. 482–486.
18. Ryabinin I.A. Logical probabilistic analysis and its history. *International journal of risk assessment & management*. 2015. vol. 18. no. 3-4. pp. 256–265.
19. Geyda A.S., Ismahilova Z.F., Clitnyu I.V., Lysenko I.V. [Operational and exchange properties of systems research problems]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2014. vol. 4(35). pp. 136–160. (In Russ.).
20. Geyda A.S., Lysenko I.V. [Research problems of socio-economical systems capabilities]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2009. vol. 10. pp. 63–84. (In Russ.).
21. Geida A.S., Lysenko I.V., Yusupov R.M. [Main Concepts and Principles for Information Technologies Operational Properties Research]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 5(42). pp. 5–36. (In Russ.).
22. Yusupov R.M., Musaev A.A. [By Estimating the Effectiveness of Information Systems. Methodological Aspects]. *Informacionnye tehnologii – Information technologies*. 2017. vol. 23(5). pp. 323–332. (In Russ.).
23. *Rukovodstvo k svodu znanij po upravleniyu proektami – PMBOK* [A Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK 5]. Moscow. Olymp-Business. 2014. 590 p. (In Russ.).
24. McMahon P. 15 Fundamentals for Higher Performance in Software Development: Includes discussions on CMMI, Lean Six Sigma, Agile and SEMAT's Essence Framework. Pem Systems Publ. 2014. 336 p.
25. ИВА. A Guide to Business Analysis Body of Knowledge (BABOK 2.0). 2015. 502 p.

26. Shalunova M. *Svod znaniy po upravleniyu biznes-protsessami. BPM CBOK 3.0* [BPM CBOK Version 3.0: Guide to the Business Process Management Common Body of Knowledge]. M.: Alpina Publisher. 2016. 640 p. (In Russ.).
27. Taylor J., Purchase J. *Real-World Decision Modeling with DMN*. 2016. Meghan-Kiffer Press. USA. 437 p.
28. Kendrick T. *How to Manage Complex Programs*. AMACOM. 2016. 336 p.
29. Dinsmore T.W. *Disruptive Analytics: Charting Your Strategy for Next-Generation Business Analytics*. Apress. 2016. 276 p.
30. *The Agile Extension to the BABOK® Guide*. International Institute of Business Analysis (IIBA). 2015. 128 p.
31. *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK) v.3*. IEEE Computer society. 2004. 335 p.
32. Blokdyk G. *COBIT 5: The Ultimate Step-By-Step Guide*. 5STARCOoks. 2018. 124 p.
33. Zidane Y., Olsson N. Defining project efficiency, effectiveness and efficacy. *International Journal of Managing Projects in Business*. 2017. vol. 10. Issue 3. pp. 621–641.
34. Carvalho M., Takao S., Silva D. Efficiency and Effectiveness Analysis of Public Transport of Brazilian Cities. *Journal of Transport Literature*. 2015. vol. 9(3). pp. 40–44.
35. Mesterova J., Prochazka J., Vaculik J., Smutny P. Relationship between Self-Efficacy, Transformational Leadership and Leader Effectiveness. *Journal of Advanced Management Science*. 2015. vol. 3. no. 2. pp. 109–122.
36. Nordon C. et al. The «Efficacy-Effectiveness Gap»: Historical Background and Current Conceptualization. *Value in Health*. 2016. vol. 19. Issue 1. pp. 75–81.
37. Docekalova M., Kocmanova A. Evaluation of the Effectiveness of Manufacturing Companies by Financial and Non-financial Indicators. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. vol. 213(1). pp. 491–496.
38. Hwangbo H., Johnson A.L., Ding Y. A Production Economics Analysis for Quantifying the Efficiency of Wind Turbines. *Wind Energy*. 2017. vol. 20(9). pp. 1501–1513.
39. Lee C-Y., Johnson A.L. Effective production: measuring of the sales effect using data envelopment analysis. *Annals of Operations Research*. 2015. vol. 235(1). pp. 453–486.
40. Lanzaa G. et al. Measuring Global Production Effectiveness. *Procedia CIRP*. 2013. pp. 31–36.
41. Eswaramurthi K., Mohanram P. Improvement of Manufacturing Performance Measurement System and Evaluation of Overall Resource Effectiveness. *American Journal of Applied Sciences*. 2013. vol. 10(2). pp. 131–138.
42. Azad M., Jafarian M., Farzipoor R., Mirhedayatian S. A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. *Computers & Operations Research*. 2015. vol. 54. pp. 274–285.
43. Forsund F. Measuring effectiveness of production in the public sector. *Omega*. 2017. vol. 73. pp. 93–103.
44. Scott M., DeLone W., Golden W. Measuring eGovernment success: a public value approach. *European Journal of Information Systems*. 2016. vol. 25(3). pp. 187–208.
45. Bayne L., Schepis D., Purchase S. A framework for understanding strategic network performance: Exploring efficiency and effectiveness at the network level. *Industrial Marketing Management*. 2017. vol. 67. pp. 134–147.
46. Stojcic N., Hashi I., Orlic E. Creativity, innovation effectiveness and productive efficiency in the UK. *European Journal of Innovation Management*. 2018. pp.1460–1060.
47. Yang Z., Yong S., Hong Y. Scale, congestion, efficiency and effectiveness in e-commerce firms. *Electronic Commerce Research and Applications*. 2016. vol. 20. pp. 171–182.
48. Matinheikki Y., Pesonen T., Arto K., Peltokorpi A. New value creation in business networks: The role of collective action in constructing system-level goals. *Industrial Marketing Management*. 2017. vol. 67. pp. 122–133.

49. Yang Z., Yong S., Hong Y. Analysis on pure e-commerce congestion effect, productivity effect and profitability in China. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2017. vol. 57. pp. 35–49.
50. Garza-Reyes J. From measuring overall equipment effectiveness (OEE) to overall resource effectiveness (ORE). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2015. vol. 21(4). pp. 506–527.
51. Shelly P., Straub D., Liang T. How Information Technology Governance Mechanisms and Strategic Alignment Influence Organizational Performance: Insights from a Matched Survey of Business and IT Managers. *MIS Quarterly*. 2015. vol. 39. pp. 497–518.
52. Mikalef P., Pateli A. Information technology-enabled dynamic capabilities and their indirect effect on competitive performance: Findings from PLS-SEM and fsQCA. *Journal of Business Research*. 2017. vol. 70. pp. 1–16.
53. Wetering V., Mikalef P., Adamantia P.A strategic alignment model for IT flexibility and dynamic capabilities: Toward an assessment tool. Twenty-Fifth European Conference on Information Systems (ECIS). 2017. pp. 1–17.
54. Laaksonen O., Peltoniemi M. The essence of dynamic capabilities and their measurement. *International Journal of Management Reviews. British Academy of Management*. 2018. vol. 20(2). pp. 184–205.
55. Schilke O., Hu S., Helfat C. Quo vadis, dynamic capabilities? A content-analytic review of the current state of knowledge and recommendations for future research. *Academy of Management Annals*. 2018. vol. 12. no. 1. pp. 390–439.