

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Р. М. Юсупов, А. А. Мусаев, Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий, *Тр. СПИИРАН*, 2017, выпуск 51, 5–34

DOI: 10.15622/sp.51.1

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.17.78.184

26 декабря 2024 г., 17:09:18



Р.М. ЮСУПОВ, А.А. МУСАЕВ
**ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Юсупов Р.М., Мусаев А.А. Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий.

Аннотация. Рассмотрена задача построения методологии оценки эффективности информационных систем и технологий, позволяющая количественно оценить результативность их применения. Особенностью информационных систем является их сервисный характер, что приводит к необходимости косвенного оценивания их эффективности через терминальный положительный эффект метасистемы, в интересах которой данная система была создана или адаптирована.

Приведен краткий обзор существующих подходов и методик к оцениванию эффективности информационных систем и технологий. Установлена неоднозначность используемых определений эффективности, и как следствие, сложности построения формализованной количественной методики ее оценивания.

Предложены количественные оценки эффективности информационной системы, учитывающие вероятностную природу исходных данных, используемых для построения этих оценок. Представлены варианты необходимых и достаточных критериев эффективности информационных систем, выраженные через эффективность метасистем, в интересах которых они функционируют.

Ключевые слова: информация, информационные системы, информационные технологии, эффективность, качество, методология, вероятностный подход, системный анализ, АСУ, логико-вероятностный метод.

1. Введение. Процесс создания и применения любой *информационной системы* (ИС) или *информационной технологии* (ИТ) неизбежно связан с проблемой оценки их эффективности. При этом возникает целый ряд сложных вопросов, обусловленных спецификой объекта, для переработки и хранения которого ИС создавалась — *информации*. Над таинством природы информации многие годы трудились философы и прикладные специалисты [1-5], однако их успехи существенно отстают от взрывоподобного роста практических приложений ИТ. В результате возникшего разрыва между теоретическим осознанием природы информационных процессов и быстро прогрессирующим развитием практических реализаций ИС, образовался пробел в области оценки их эффективности, связанный с общей задачей квалитметрии информационных систем.

Заметим, что ИС, в том числе и программные комплексы, можно рассматривать как терминальные реализации ИТ. В связи с этим в дальнейшем ограничимся задачей оценки эффективности ИС, имея в виду, что предложенная в статье методика распространяется и на ИТ.

Особую проблему при оценивании эффективности информационных систем создает тот факт, что большинство ИС относится к сервисным или инструментальным системам. Это означает, что сами по

себе они не создают итогового результата, который можно было бы оценить в терминах экономической эффективности. Иными словами, результативность ИС является опосредованной через функционирование других видов систем — технических, экономических, военных, социальных и т.п.

Задача оценивания эффективности ИС является неоднозначной и многоплановой. Однако реалии времени требуют практических методик, способных конструктивно оценить результативность разрабатываемой или уже действующей ИС. В связи с этим возникает задача формирования методологической базы, увязывающей оценку эффективности ИС с общей теорией системной квалиметрии. Решению данной задачи и посвящена настоящая работа.

2. Анализ подходов к оценке эффективности информационных систем. Отсутствие единого подхода к задаче оценивания эффективности ИС является закономерным следствием диалектического противоречия между общим и частным. Общий подход слабо отражает существенные особенности информационных систем, частные технологии оценки эффективности отдельных решений не подходят для других приложений.

Информационные системы обычно также относятся к инновационным решениям и теоретически они должны быть оценены на основе существующих методик. Однако на деле применение экономических методик анализа инноваций к ИС связано с существенными трудностями. Главной причиной этого является нематериальный характер объекта приложений ИС — информации. В частности, следствием нематериального характера информационного «сырья» является косвенный характер влияния информационных инноваций на экономическую эффективность проектов.

Проблемы оценивания эффективности ИС начинаются с неоднозначности исходных определений. В различных отечественных и зарубежных руководящих документах используются разнообразные определения эффективности [6-10]. По определению ISO 9000, «эффективность — это связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами» [7]. При этом, как замечено в [11], перевод с английского, осуществленный в процессе преобразования ISO 9000 в ГОСТ Р ИСО 9000, содержит некорректную интерпретацию терминов *efficiency* и *effectiveness*. В частности, не учитываются содержательные различия в терминах «результативность» и «производительность».

Еще одно плохо формализуемое определение: «эффективность инвестиционного проекта — категория, отражающая соответствие инвестиционного проекта целям и интересам его участников» [6]. Относи-

тельно конструктивное определение эффективности, привязанное к экономическому анализу, можно найти в [10]: «Под экономической эффективностью понимается соотношение непосредственных результатов деятельности, результатов, полученных и планируемых для достижения в рамках тактических задач, программ, программных мероприятий, с затратами на их достижение».

Возникает закономерный вопрос — можно ли на основе таких размытых определений построить однозначную количественную оценку эффективности ИС (или любой другой системы)? Вопрос открытый. Сложность решения данной задачи привела к скептическому отношению к возможности априорных оценок эффективности инновационных проектов в целом.

В частности, авторитетный американский журнал CIO Insight утверждает, что более половины фирм вообще не осуществляет анализ окупаемости вложений в развитие информационной структуры (даже при внедрении столь существенных проектов, как ERP или корпоративные порталы). Вердикт журнала: «Состояние оценивания экономического эффекта от внедрения ИТ выглядит удручающе» [13]. По результатам опроса российских предпринимателей [14], в целом сохраняется вера в окупаемость вложений в информационную инфраструктуру компании (до 47% опрошенных). Однако 80% компаний, из числа не согласившихся на внедрение ИТ, в качестве причины отказа называют недостаточность эффекта от вложений.

Насколько эффективны современные западные методики оценки эффективности инвестиционных проектов? Речь идет, прежде всего, о таких интегральных показателях, как *TCO* (total cost of ownership, полная стоимость владения) и *ROI* (return on investment, возврат на инвестицию). По мнению ряда авторов [13, 14], отказ российских предпринимателей от использования этих показателей связан с иной ориентацией отечественного бизнеса. В РФ основной целевой функцией является не увеличение производительности труда, а рост отдачи от капитала.

Для ИТ-инноваций оба приведенных показателя являются несостоятельными в силу сложности оценки парциальной прибыли, обусловленной внедрением или модификацией информационных систем [15]. К тому же высочайшая скорость развития вычислительных средств крайне затрудняет оценку срока использования ИС. По результатам опроса [16], 70% компаний находят показатель ROI слишком сложным для вычисления и 44% — субъективным.

Следуя [9, 11], рассмотрим еще одну модель — *PRM*, применяемую, в частности, для оценки эффективности ИТ при использовании в интересах государственных служб. В качестве основного показателя

Productivity&Efficiency используется объем работы, выполненный в единицу времени и соотношенный с использованными ресурсами.

Важные результаты в отношении возможности применения традиционных методик оценки эффективности инноваций к ИС показали исследования П. Страссмана [17, 18]. Вывод оказался достаточно неожиданным: между ИТ-бюджетами и целевыми показателями результативности бизнеса статистических корреляций нет! Исключение составил показатель затрат на управление и администрирование, продвижение и поддержку продаж — Sales, General & Administrative (SG&A). Заметим, что данный вывод подтверждает справедливость вышеприведенного утверждения о косвенном характере влияния ИТ на терминальную эффективность бизнеса. На основе приведенных исследований в качестве оценки реальной эффективности ИС был предложен показатель информационной продуктивности — *Information Productivity* (IP) [17-20] $IP = EVA/SG\&A$, где *EVA* (Economic Value Add) — объем прибыли компании после уплаты налогов и выплаты дивидендов по акциям. Здесь *SG&A* используется как параметр, чувствительный к внедрению ИТ. Анализ динамики *IP* показал, что лишь немногие компании смогли получить конкурентные преимущества за счет внедрения ИТ. Анализ этого явления приведен в [19].

В качестве альтернативы к бизнес-оценкам эффективности ИС в [15] приводятся так называемые системные методы анализа, демонстрирующие целесообразность применения ИТ в различных сферах деятельности компаний. Примерами соответствующих методик могут служить:

- сбалансированная система показателей *BSC* (Balanced Score Card);
- система показателей ИТ *BITS* (Balanced IT Score Card);
- референтная модель производительности *PRM* (Performance Reference Model);
- бизнес-ценность ИТ *BVIT* (Business Value of IT);
- сервисная стратегия *ITIL* (Information Technology Infrastructure Library Service Strategy).

Существенным отличием системных методик является попытка отразить не только терминальные финансовые показатели, но и другие характеристики, благоприятно влияющие на деятельность компании. Примерами таких характеристик являются:

- вклад ИТ в развитие компании;
- операционные преимущества;
- влияние на перспективы компании;
- степень ориентации на клиентов и пользователей;

- улучшение качества предоставляемых услуг;
- степень влияния на бизнес-процессы;
- прямая окупаемость ИТ-инноваций и т.п.

Очевидными недостатками всех приведенных определений является их низкая пригодность для построения точных количественных оценок эффективности ИС на разных этапах их жизненного цикла. Достаточно понятно, что построить гармоническую интегральную оценку эффективности ИТ-инноваций на таком обширном, плохо формализованном пространстве практически невозможно. Результатом применения размытых методик в конечном итоге является множество числовых характеристик, не допускающих ранжирования, а следовательно, и корректного сравнения вариантов реализации ИС без вмешательства субъективной экспертизы.

Следует заметить, что отсутствие объективных подходов к оценке эффективности ИТ привело некоторых исследователей к парадоксальным выводам. Так, например, в работе Н. Карра [21] обосновывается вывод о том, что ИТ вообще не дают конкурентного преимущества. При этом приводятся вполне убедительные доводы: комплексная автоматизация предприятия на уровне ERP может стоить миллионы USD и потребовать существенной перестройки всей информационной инфраструктуры предприятия. В то же время сомнительный положительный эффект достигается только косвенным образом, через увеличение уровня транспарентности и, ожидаемо, управляемости производством. При этом в силу фантастической скорости развития микроэлектроники и ИТ развернутая дорогостоящая ERP может оказаться устаревшей уже к моменту ее внедрения.

В работах [22-23] также указывается, что ИС сами по себе не дают преимуществ и лишь в совокупности с другими инициативами способны влиять на ключевые факторы успеха, создавать конкурентные преимущества. Для оценки эффективности в этих статьях предлагается использовать процессный подход, разделяющий корпоративные процессы на основной, то есть добавляющий стоимость к исходному продукту, и вспомогательный. Для промышленных предприятий информационные процессы естественно относятся к категории вспомогательных. Следовательно, эффективность ИС в этом случае также следует оценивать косвенно, через совершенствование управления производственного цикла предприятия.

Экспериментальное опровержение парадоксу непроизводительности ИТ приведено в работах группы экспертов под руководством Э. Бриньолсона [24-25]. В частности, было показано, что ИТ оказывают существенное и статистически значимое влияние на итоги работы

компании, отдача на инвестиции в компьютерный капитал составляла в среднем около 81% и существенно превосходила отдачу от инвестиций в другие материальные активы.

В заключении обзора, посвященного эффективности ИС, следует указать на материалы проекта IT-Value [26], описывающие особенности экономического анализа инвестиций в ИТ. Исходными постулатами проекта являются утверждения:

— инвестиции в ИТ влияют на всю организацию, поэтому объект исследования — это компании в целом, а не информационные системы или ИТ-проекты по отдельности;

— развитие и эксплуатация корпоративных ИТ рассматривается как единый и взаимосвязанный комплекс процессов, который влияет на бизнес-результаты компании;

— существуют объективные закономерности влияния ИТ на экономические результаты компании, которые не зависят от того, что думают о них руководители организации или ИТ-директоры и др.

Важной особенностью проекта является разработка методов оценки эффективности инвестиций в ИТ, учитывающих специфику российской действительности.

Кратким выводом из приведенного обзора является заключение об актуальности задачи построения конструктивной количественной методики анализа эффективности ИС, обеспечивающей априорную оценку их результативности и возможность объективного сравнения вариантов их реализации с учетом нематериальной специфики информационных сред. В качестве теоретической платформы для построения такой методики предлагается проверенное сочетание вероятностно-статистического подхода к оцениванию эффективности с общими принципами системного анализа [27-32].

2. Основные понятия теории эффективности информационных систем. Выбор критериальной функции, предназначенной для количественной или качественной оценок результативности ИС, достаточно субъективен. Наиболее универсальным показателем качества системы является *эффективность* ее функционирования.

Эффективность является одним из фундаментальных свойств любой системы и непосредственно сопоставляется с результативностью ее применения. В связи с этим понятие эффективности системы во многих случаях используется как основной показатель качества ее функционирования.

Для описания столь сложного и многопланового понятия, как эффективность, применяется целый набор разнородных показателей, отражающих определенные квалиметрические признаки. Вариант неполной классификации показателей эффективности ИС приведен на рисунке 1.

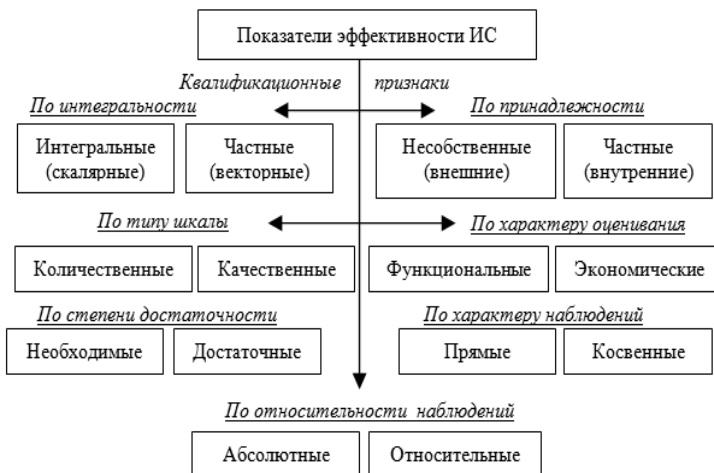


Рис. 1. Классификация показателей эффективности информационных систем

Принципиальным вопросом для оценки эффективности ИС является размерность ее показателя: одномерность (или скалярность) интегрального показателя эффективности существенна. В этом случае сравнительный анализ вариантов решения поставленной задачи реализуется их прямым ранжированием на основе очевидного упорядочивания значений скалярного показателя эффективности.

В случае отказа от одномерного показателя эффективности и перехода к векторному, элементами которого являются частные характеристики формируемого решения, задача выбора наилучшего варианта не только существенно усложняется, но и становится не вполне корректной. Действительно, сравнение и упорядочивание ряда векторов, отвечающих набору возможных решений, реализуется лишь путем их скаляризации на основе той или иной метрики. В свою очередь, выбор подходящей метрики всегда несет в себе элементы субъективизма. В лучшем случае можно ожидать выбор метрики на основе экспертных оценок, когда весовые коэффициенты частных показателей определяются специальной обработкой результатов опроса группы или групп специалистов в соответствующих областях знаний.

Тем не менее векторные показатели эффективности также распространены на практике, поскольку позволяют осуществить естественную декомпозицию общей проблемы повышения эффективности функционирования ИС на ряд частных вопросов, каждый из которых может составлять самостоятельную научную задачу последующего иерархического уровня. Так, например, комплексная проблема совершенствования ИС состоит из задач повышения оперативности доступа к хранимой информации, уровня программной совместимости с другими *системами хранения информации* (СХИ) и с информационными приложениями, степени безопасности хранения данных, степени доступности данных для пользователей, возможности формирования нестандартных запросов и так далее. Необходимость учета частных показателей приводит к специфическим методам анализа и синтеза систем, основанным на многокритериальном подходе.

На вербальном уровне эффективность ИС определяется как количественная мера способности системы выполнять возложенные на нее задачи. Прямой эффект от применения конкретной системы оценивается так называемой *функциональной эффективностью*. Наряду с функциональной эффективностью широко используется понятие *экономической эффективности*, в котором достигнутый полезный эффект соотносится с экономическими затратами, потребляемым ресурсом и т.п. Окончательный выбор показателя и критерия эффективности ИС осуществляется, исходя из цели, в интересах которой создавалась эта система. Так, например, АСУ, рассматриваемая как информационная система, создавалась с целью повышения эффективности формируемых управляющих решений и их реализации, ИС образовательной системы — с целью повышения качества подготовки выпускников и т.п.

Таким образом, основные показатели эффективности ИС формируются на основе требований, предъявляемых к ней со стороны *метасистемы* — иерархически вышестоящая система, в интересах которой ИС создается.

Необходимость изучения ИС в иерархическом метасистемном ряду привела к разделению показателей эффективности на *собственные* и *несобственные*. Собственные (или *внутренние*) показатели предназначены для изучения системы *по разомкнутой схеме*, когда ИС рассматривается как самостоятельная, не связанная с метасистемой. Несобственные (или *внешние*) показатели отражают влияние качества функционирования изучаемой ИС на характеристики метасистемы с учетом выбранных критериев эффективности.

Достаточно очевидно, что даже наиболее полный набор собственных технических характеристик ИС (уровни полноты и достоверности обрабатываемой информации, оперативность, функциональная устойчивость, пропускная способность и т.д.) является недостаточным для интегральной оценки ее эффективности: итоговая оценка результативности исследуемой системы, как ранее отмечалось, должна восходить к показателям качества вышестоящей метасистемы.

Следует заметить, что далеко не всегда удается строго количественно оценить показатели эффективности сложной ИС. В этом случае переходят к качественным шкалам оценивания — номинальной или ординальной. Во многих случаях качественная оценка эффективности ИС формируется в результате опроса экспертов с последующей статистической обработкой их заключений.

В зависимости от степени достижения поставленной цели критерии эффективности могут быть отнесены к категории необходимых или достаточных. В случае, если критерий отражает принципиальную допустимость ИС (с достигнутым уровнем эффективности) для решения стоящих перед ней задач, то его следует отнести к категории необходимых. Типичным необходимым критерием является превышение показателем эффективности ИС некоторого априори заданного порога, определенного техническим заданием на ее разработку. Достаточные критерии эффективности ИС могут носить разный характер: в их роли могут выступать достижение показателем эффективности максимального значения в выбранном диапазоне исходных данных или, при заданных ограничениях, превышение показателем эффективности соответствующего показателя системы-прототипа и др.

В большинстве случаев, особенно при использовании векторных показателей, оказывается целесообразным сочетать необходимые и достаточные критерии. В частности, допускается оценивать эффективность ИС на основе метода главного показателя, когда один из показателей (главный), например, достоверность отображения контролируемой ситуации относится к категории достаточных и подлежит максимизации, а остальные — к категории необходимых, то есть отвечающих заданным пороговым нормам. К числу последних можно отнести полноту отображения ситуации, вычислительную реализуемость ИС, чувствительность к контролируемым параметрам, устойчивость к возмущениям и вариациям вероятностной структуры исходных данных и т.п.

Следует отметить, что для полноты классификации показателей эффективности ИС их можно разделить по характеру измерений (наблюдений) на прямые или косвенные, а также на абсолютные

или относительные. В соответствии с этим и оценивание их величин является прямым и косвенным, абсолютным и относительным. Косвенное оценивание реализуется в условиях, когда прямое наблюдение показателей эффективности ИС невозможно и уступает последнему по информативности и, как правило, по объективности (достоверности).

Разделение показателей на абсолютные и относительные достаточно очевидно: абсолютные показатели используются при наличии эталонной количественной шкалы. Если такую шкалу построить не удастся, то используются относительные показатели. Особенно наглядное применение относительной шкалы имеет место при использовании критерия превосходства. Например, разрабатываемая ИС превосходит по оперативности систему-прототип на 20%. Следует иметь в виду и очевидные недостатки относительной шкалы: относительные показатели не являются достаточными для принятия решения о практической состоятельности ИС. Так, например, ИС может превосходить прототип, но при этом не удовлетворять критерию пригодности или используемый показатель не является существенным с точки зрения практических приложений.

3. Количественная оценка эффективности информационной системы. Критерии эффективности. Основные технические характеристики любой ИС $IS(Q)$ задаются векторной совокупностью ее собственных показателей $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$.

Для ИС в роли таких показателей могут выступать:

- допустимый объем хранения полезной информации;
- реальный объем памяти hardware, занимаемый ИС;
- время доступа (время получения пользователем единицы объема востребованных данных из СХИ);
- степень безопасности ИС в отношении несанкционированного доступа;
- степень надежности сохранения информации в СХИ;
- открытость системы и т.п.

Из приведенного перечня видно, что собственные показатели эффективности ИС могут обладать различной природой: часть из них носит количественный (метрический) характер, хорошо согласующийся с традиционными методами статистического оценивания, другие имеют качественный характер и выражаются через логические переменные. В последнем случае требуются специальные методы обработки, основанные на правилах символического исчисления, неметрическом шкалировании, теории нечетких множеств и т.п. В результате возникает проблема согласования измерительных шкал (метрической, ординальной, номи-

нальной), решение которой позволяет использовать разнородные исходные данные и довести решение задачи анализа эффективности ИС до конструктивного результата.

Как правило, технические требования к ИС задаются в виде области допустимых значений $\{Q_{IS}\}_0$, полученной в результате априорного анализа аналогов, экспериментального и/или имитационного исследования функционирования информационной системы IS и метасистемы MS , в интересах которой она была создана. Наличие априорных требований к ИС позволяет сформировать простейший критерий пригодности ИС в виде:

$$Q_{IS} \in \{Q_{IS}\}_0. \quad (3.1)$$

Как уже отмечалось, на практике в критерий (3.1) подставляется не значения вектора Q , а его оценка \hat{Q} , полученная по результатам измерений или априорного экспертного анализа. Следовательно, критерий (3.1) носит статистический характер.

Более общий подход основан на предположении о том, что множество допустимых значений технических характеристик ИС $\{Q_{IS}\}_0$ должно отвечать требованию пригодности иерархически вышестоящей метасистемы MS , в интересах которой информационная система создавалась. Предположим, что эффективность (результативность, достигнутый положительный эффект) метасистемы MS определяется скалярной величиной Eff_{MS} , зависящей от технических характеристик входящей в ее состав ИС с параметрами Q_{IS} , то есть:

$$Eff_{MS} = Eff_{MS}(Q_{IS}). \quad (3.2)$$

Реальная эффективность функционирования метасистемы MS зависит от множества разнообразных факторов: показателей самой метасистемы, качества ее управления, особенностей применения и т.п. Однако для решения задачи оценки эффективности ИС интерес представляет только частная зависимость (3.2); остальные зависимости и параметры рассматриваются как условия, фиксируемые в ограничительной или дескриптивной части решаемой задачи.

Также было отмечено, что оценка эффективности ИС осуществляется исходя из результативности функционирования (применения) метасистемы. Оценка результативности метасистемы, рассматриваемая здесь как синоним ее эффективности, в свою очередь, определяется на

основе субъективных критериев, имеющих экзогенный (по отношению к MS) характер. Следовательно, интегральная оценка эффективности ИС Eff_{IS} определяется набором априори заданных критериев, позволяющих определить необходимые и достаточные условия эффективности метасистемы MS в зависимости от собственных показателей ИС.

Необходимым условием эффективности любой системы является ее *пригодность*. Однако в отличие от (3.1), как это только что было декларировано, она должна выражаться через терминальную эффективность метасистемы MS .

При использовании детерминированного подхода, когда в наличии имеется одна единственная реализация (или в условиях полной статистической определенности) критерий пригодности описывается соотношением:

$$Eff_{MS}[Q_{IS}] > Eff_0, \quad (3.3)$$

Здесь Eff_0 — некоторое пороговое значение эффективности метасистемы, ниже которого MS теряет функциональную пригодность. На практике оценка эффективности $Eff_{MS}[Q_{IS}]$ является случайной величиной. Следовательно, для повышения достоверности критерия пригодности (3.3) целесообразно перейти к ее усредненному значению, полученному на основе серии из N испытаний с одинаковыми условиями их проведения:

$$\overline{Eff_{MS}(Q_{IS})} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Eff_{MS}(Q))_i > Eff_0. \quad (3.4)$$

Совокупность $Q = Q_{IS}$, отвечающих условию (3.4), образует множество допустимых значений технических характеристик ИС $\{Q_{IS}\}_0$.

В более общем случае пригодность ИС определяется вероятностью того, что достигнутый метасистемой положительный эффект (результат) будет превышать некоторый априори установленный порог $Eff_{MS}^0 = Eff_0$. В этом случае критерий пригодности ИС можно представить в виде:

$$P\{Eff_{MS}[Q_{IS}] > Eff_0\} > P_0, \quad (3.5)$$

где P_0 — критическое значение, выбираемое исходя из требований решаемой метасистемой MS задачи.

Определение значения вероятности P_0 предполагает знание функции распределения $F(\text{Eff}_{MS}(Q))$. В некоторых случаях распределение можно задать исходя из общих соображений. Например, из условий выполнения ограничений центральной предельной теоремы, можно сделать предположение о нормальном характере распределения $\text{Eff}_{MS}(Q)$. При наличии достаточного статистического материала можно построить непараметрическую оценку плотности распределения. Однако для большинства практических задач оценку функции распределения эффективности метасистемы получить не удастся и следует использовать более доступные для реализации критерии (3.3-3.4).

Критерий пригодности является необходимым условием; его невыполнение делает бессмысленным разработку или применение соответствующей ИС. Таким образом, выполнение критерия пригодности является некоторым императивом: с его помощью можно однозначно указать на нецелесообразность разработки/применения ИС, но нельзя ответить на другой не менее важный вопрос — насколько эффективна ее реализация.

В связи с этим, как отмечалось в предыдущем разделе, в практике системной квалиметрии одновременно с (3.3-3.5) используются условия достаточности — критерии превосходства или оптимальности.

Критерий превосходства позволяет оценить ИС на основе сопоставления ее параметров с параметрами системы-прототипа IS^0 :

$$\text{Eff}_{MS}[Q(IS)] > \text{Eff}_{MS}^0 \text{ для } \forall Q_{IS} \in \{Q_{IS}\}_0, \quad (3.6)$$

где множество допустимых значений параметров ИС $\{Q_{IS}\}_0$ формируется из условия выполнения требования пригодности MS (3.1). Величина $d\text{Eff}_{MS} = \text{Eff}(Q) - \text{Eff}(Q^0)$ будет отражать выигрыш, достигнутый от применения ИС IS вместо системы-прототипа IS^0 .

Применение критерия (3.6) требует существенных оговорок:

1. Желательно, чтобы эффективность метасистемы является монотонно-неубывающей функцией от параметров качества ИС Q , то есть:

$$\text{если } Q_1 \geq Q_2, \text{ то } \text{Eff}_{MS}(Q_1) \geq \text{Eff}_{MS}(Q_2). \quad (3.7)$$

На практике выполнения этого условия ожидать не следует. Повышение качества ИС не гарантирует повышение эффективности MS .

2. Понятия «больше» или «меньше» при сравнении векторов определяются через построенные на них скалярные меры. Выбор меры представляет субъективный экзогенный процесс и требует дополнительного обоснования.

3. Критерий превосходства в формуле (3.6) правомерен лишь для независимых параметров q_1, q_2, \dots, q_n . В случае, когда последние являются зависимыми величинами, увеличение частного параметра q_i может привести к уменьшению другого параметра q_j , что для нелинейного оператора $Eff_{MS}(Q)$ может привести к серьезным трудностям при формализованном синтезе ИС по критерию превосходства.

Очевидно, что критерий (3.6) не гарантирует, что исследуемая ИС будет обладать наибольшей эффективностью. Поэтому более строгое решение может быть получено на основе *критерия оптимальности*, выраженного через эффективность метасистемы:

$$Eff_{MS}(Q^*) > Eff_{MS}(Q_{IS}) \text{ для } \forall Q_{IS} \in \{Q_{IS}\}_0. \quad (3.8)$$

При выполнении вышеприведенных ограничений 1-3, в частности при выполнении условия монотонности (3.7), векторный критерий оптимальности можно представить в виде $Q = Q^* = extr\{Q_{IS}\}_0$, то есть имеет наибольшее (или наименьшее) значение среди $\forall Q_{IS} \in \{Q_{IS}\}_0$.

В ряде прикладных задач, связанных с оценкой эффективности ИС, крайне плодотворной оказывается представление качественного состояния системы в виде точки m -мерного фазового пространства. При этом изменение эффективности ИС будет соответствовать перемещению фазовой точки в данном пространстве $\{Q^m\}$. Попадание вектора Q в область $\{Q_0\}$ соответствует выполнению критерия пригодности, превышение значений вектора $q_j^0 \in \{Q_0\}$, $j = 1, \dots, n$ — критерию превосходства и нахождение глобального максимума q_j^* , $j = 1, \dots, n$ — критерию оптимальности.

Заметим, что приведенные выше показатели эффективности относятся к детерминированной ситуации. В случае, когда имеется возможность получить избыточный объем наблюдений показателей качества, целесообразно перейти к вероятностно-статистической постановке, обеспечивающей более реалистичскую оценку эффективности ИС. В частности, при наличии вероятностного распределения вектора Q , критерии пригодности, превосходства и оптимальности можно представить в виде:

$$P\{Q \in \{Q_0\}\} > P_0 ; \quad (3.9)$$

$$P\{Q > Q^0\} > P_0 ; \quad (3.10)$$

$$P\{Q = Q^*\} > P_0. \quad (3.11)$$

При этом соотношение (3.9) является необходимым условием-ограничением для (3.10) и (3.11).

В более общем случае вероятностный подход требует знания функции распределения показателя эффективности метасистемы $F[Eff_{MS}(0)]$. По аналогии с необходимым критерием (критерием пригодности) (3.5) можно сформулировать и достаточные критерии эффективности. В частности, эффективность ИС *по критерию превосходства* определяется вероятностью того, что достигнутый метасистемой положительный эффект $Eff_{MS}(Q(IS))$ будет превышать соответствующий эффект (полученный в тех же условиях), достигнутый при использовании ИС-прототипа $IS^0 = IS(Q^0)$ с вероятностью не ниже заданной P_0 . В этом случае критерий превосходства ИС можно представить в виде:

$$P\{Eff_{MS}[Q_{IS}] > Eff_{MS}[Q^0]\} > P_0, \quad (3.12)$$

При отсутствии полных априорных знаний о распределении параметра эффективности $F\{Eff_{MS}(Q)\}$, критерий превосходства можно сформировать на основе средних значений:

$$\overline{Eff_{MS}(Q_{IS})} > Eff_{MS}(Q_{IS_0}), \text{ для } \forall Q_{IS} \in \{Q_{IS}\}_0. \quad (3.13)$$

Аналогичные соотношения могут быть получены для *критерия оптимальности*. При этом необходимо заранее определить множество, на котором осуществляется оптимизация. В частности, если осуществляется синтез или поиск оптимальной ИС на некотором множестве допустимых значений показателей качества ИС $\{Q_{IS}\}_0$, критерии оптимальности в зависимости от уровня априорной статистической определенности могут быть, по аналогии с (3.12-3.13), записаны в виде: $P\{Eff_{MS}[Q^*_{IS}] > Eff_{MS}[Q_{IS}]\} > P_0$, для $\forall Q_{IS} \in \{Q_{IS}\}_0$ где $Q^*(IS) = Q^*_{IS}$ — оптимальные значения параметров ИС.

Рассмотрим три примера приложения предложенной методики к оценке эффективности различных типов ИС.

4. Пример 1. Оценка эффективности АСУ как информационной системы. Как уже отмечалось, выбор показателя и критерия эффективности ИС осуществляется исходя из цели, определяемой со стороны иерархически вышестоящей метасистемы MS . В случае промышленного производства роль метасистемы MS по отношению к АСУ выполняет *технологический процесс* (ТП) или технологический цикл предприятия. Таким образом, эффективность АСУ как информационной системы следует оценивать через эффективность ТП.

Рассмотрим формализованную постановку оценки эффективности промышленной АСУ. Предположим, что ТП (то есть метасистема MS), управляемый АСУ, функционирует в сложной, не полностью определенной среде под воздействием последовательностей управляющих воздействий $\{u_k, k = 1, \dots, m\}$. Функциональная схема взаимодействия АСУ и метасистемы (ТП) представлена на рисунке 2.

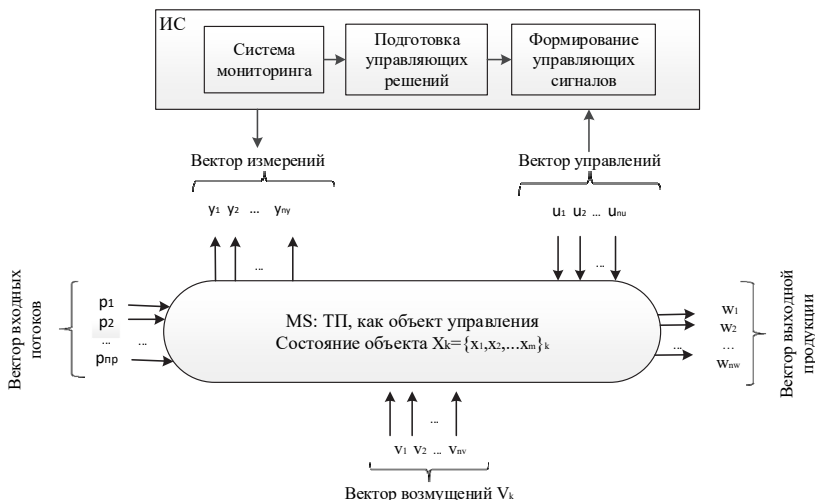


Рис. 2. Функциональная схема взаимодействия АСУ, как информационной системы, и метасистемы – технологического процесса

Состояние объекта управления $X_k, k = 1, \dots, N$ в общем случае представляет собой векторный динамический стохастический процесс. Множество состояний, как правило, является континуумом, однако в процессе взаимодействия с цифровой системой мониторинга оно преобразуется в дискретную временную последовательность.

Векторная совокупность текущего состояния ТП x_k , управляющих u_k и возмущающих v_k воздействий образуют текущую ситуацию $S_k = \{x_k, u_k, v_k, k = 1, \dots, N\}$.

Предположим, что $U = \{u_k\}$ — множество допустимых векторных управлений, формируемых АСУ. Каждое $u_k \in U$ представляет собой текущее управление, сформированное на основе анализа текущей ситуации S_k . В результате мониторинга состояния ТП образуется последовательность векторов наблюдения $Y_k = (y_1, \dots, y_{m'})_k, k = 1, \dots, N$, используемая для подготовки управляющих решений. Реализация управления приводит к реакции ТП, которая будет проявляться:

— в переходе ТП из состояния x_k в состояние x_{k+1} под воздействием управляющего сигнала $u_k \in U$;

— в выработке выходных воздействий (выходной продукции) $W_{k+\tau}$, определяющей терминальное качество управления.

В конечном итоге ТП под воздействием управлений $U_N = \{u_1, \dots, u_N\}$ переходит из состояния x_1 в состояние x_N , в результате чего формируется положительный эффект \mathcal{E}_N (функциональный или экономический, то есть соотнесенный с затратами). Для одного производственного цикла эффективность управления будет оцениваться терминальным эффектом самого ТП, то есть $Eff_{IS} = \mathcal{E}_N$. В случае, когда имеются данные по m завершенным производственным циклам, эффективность может быть уточнена традиционным усреднением $Eff_{IS} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \mathcal{E}_{Ni}$.

Рассмотрим задачу оценки эффективности пошагового корректирующего управления ТП. Пусть в результате теоретического анализа или моделирования установлено, что наибольшая достижимая величина положительного эффекта равна \mathcal{E}_N^* . Для достижения такого результата \mathcal{E}_N^* известными методами оптимального управления формируется оптимальный план (программа) — последовательность управлений $U_N^* = \{u_1, \dots, u_N\}^*$. При этом, в соответствии с принципами системного анализа [27-29], эффект, достигаемый на каждом конкретном шаге, может не быть наибольшим; важно, чтобы максимум достигался в конце управления при $k = N$, то есть в момент достижения терминальной цели.

Поскольку объект управления находится под воздействием большого числа не полностью определенных возмущений, его состояние отклоняется от оптимальной фазовой траектории, обеспечивающей оптимальное решение поставленной задачи. Для демпфирования возникающих отклонений ИС на основе обработки совокупности текущих наблюдений формирует последовательность корректирующих управлений $U_k = \{u_1, \dots, u_N\}_k$, $k = 1, \dots, N$, позволяющую поддерживать реализацию оптимального плана.

В случае, если формируемая последовательность управления обеспечивает пригодное или оптимальное функционирование ТП, можно говорить о пригодности или оптимальности оцениваемой ИС. Наоборот, если низкое качество управления приводит к тому, что система приходит в состояние $x_N \neq x_N^*$, то это означает неоптимальную работу ИС, приводящую к дефициту результирующего эффекта $d\mathcal{E}_N = \mathcal{E}_N^* - \mathcal{E}_N$. При этом, если $d\mathcal{E}_N$ настолько велика, что полученный эффект оказывается меньше допустимого порога \mathcal{E}_0 , то ИС оказывается не пригодной для выполнения поставленной перед ней задачей.

Отсюда, в соответствии с вышеприведенными критериями системной эффективности, можно получить конкретные формы оценки качества АСУ, как информационной системы.

ИС является *эффективной по критерию пригодности*, если качество формируемой ей программы управления $U_{0N} = \{u_1, \dots, u_N\}_0$ обеспечивает результирующий положительный эффект \mathcal{E}_N не меньше минимально допустимого \mathcal{E}_0 . Область эффективных (здесь — допустимых) программ управлений $\{U_0\} = \{u : \mathcal{E}_N \geq \mathcal{E}_0\}$.

В случае, если имеется возможность набрать статистику управления, то есть повторить процесс несколько раз, можно использовать вероятностные оценки эффективности. В этом случае АСУ, как ИС, признается эффективной по критерию пригодности, если:

— результирующий положительный эффект \mathcal{E}_N в среднем оказывается не меньше минимально допустимого \mathcal{E}_0 , и следовательно, область эффективных программ управлений $\{U_0\} = \{u : \bar{\mathcal{E}}_N \geq \mathcal{E}_0\}$;

— вероятность превышения результирующим положительным эффектом \mathcal{E}_N минимально допустимого порога \mathcal{E}_0 превышает заданную величину P_0 . Соответственно, область эффективных программ управлений равна $\{\mathcal{E}_0\} = \{\mathcal{E} : P\{\mathcal{E}_N \geq \mathcal{E}_0\} \geq \alpha_0\}$.

ИС является *эффективной по критерию превосходства*, если качество формируемых ей управляющих решений является достаточной для реализации программы управления $U_N^0 = \{u_1, \dots, u_N\}^0$ такой, что:

— результирующий положительный эффект \mathcal{E}_N не меньше эффекта \mathcal{E}^0 , обеспечиваемого применением системы-прототипа: $\mathcal{E}_N \geq \mathcal{E}^0$ (область эффективных программ управления):

$$\{U_0\} = \{u : \mathcal{E}_N \geq \mathcal{E}^0\};$$

— результирующий положительный эффект \mathcal{E}_N в среднем оказывается не меньше эффекта \mathcal{E}^0 , обеспечиваемого применением системы-прототипа: $\bar{\mathcal{E}}_N \geq \mathcal{E}^0$ (область эффективных программ управления $\{U_0\} = \{u : \bar{\mathcal{E}}_N \geq \mathcal{E}^0\}$);

— вероятность превышения результирующим положительным эффектом \mathcal{E}_N эффекта \mathcal{E}^0 , обеспечиваемого применением системы-прототипа, превышает заданную величину α_0 (область эффективных программ управления $\{U_0\} = \{u : P[\bar{\mathcal{E}}_N \geq \mathcal{E}^0] \geq \alpha_0\}$).

АСУ как информационная система является *эффективной по критерию оптимальности*, если качество формируемых управляющих решений, предоставляемой ей АСУ, является достаточной для реализации наиболее эффективной программы управления $U_N^* = \{u_1, \dots, u_N\}^*$ такой, что:

— результирующий положительный эффект \mathcal{E}_N является оптимальным (максимальным) на классе всех допустимых управлений $\{U\}$, то есть $\mathcal{E}_N = \mathcal{E}_N^*$; или при недостижимости \mathcal{E}_N^* , $\delta\mathcal{E}_N = \mathcal{E}_N^* - \mathcal{E}_N = \min$ (область эффективных программ управления $\{U^*\} = \{u : \delta\mathcal{E}_N = \min\}$);

— результирующий положительный эффект \mathcal{E}_N является оптимальным (максимальным) в среднем, то есть $\bar{\mathcal{E}}_N = \mathcal{E}_N^*$ или $\delta\bar{\mathcal{E}}_N = \mathcal{E}_N^* - \bar{\mathcal{E}}_N = \min$ (область эффективных программ управления $\{U^*\} = \{u : \delta\bar{\mathcal{E}}_N = \min\}$;

— с вероятностью $\alpha \geq \alpha_0$ результирующий положительный эффект \mathcal{E}_N превышает значение эффекта \mathcal{E} , обеспечиваемого любой другой допустимой программой управления. Соответствующая область эффективных программ управления равна $\{U^*\} = \{u : P[\delta\bar{\mathcal{E}}_N = \min] \geq \alpha_0\}$.

5. Пример 2. Оценка эффективности информационных образовательных систем. Основным назначением *информационных образовательных систем* (ИОС) университетов является повышение качества подготовки выпускников путем создания соответствующей информационной инфраструктуры обучения: обеспечения студентов электронной учебно-методической информацией (создание электронного кейса), осуществления электронного тестирования и самотестирования, предоставления электронных корректирующих программ, реализации оперативного направленного контроля образовательного процесса и т.п. Таким образом, в качестве метасистемы по отношению к ИОС выступает собственно образовательная система.

Основным показателем качества образовательной системы MS является степень соответствия усредненного показателя качества подготовки специалиста Q квалификационным требованиям (компетенциям) Q_0 , сформированных на основе анализа пожеланий работодателя и рынка труда и сформулированных в виде *компетентностных характеристик* (КХ). Таким образом, интегральным количественным показателем образовательной системы может служить некоторая экзогенная метрика $\mu(Q - Q_0)$, позволяющая построить усредненный вариант критерия пригодности:

$$\bar{Q} \in \{Q_0\}. \quad (5.1)$$

Аналогично формируется критерий пригодности и в более общей вероятностной форме:

$$P(Q \in \{Q_0\}) > P_0.$$

Однако непосредственный перенос критериев эффективности образовательной системы на оценку качества ИОС достаточно неоднозначен, поскольку современная методология подготовки специалистов использует последнюю лишь в качестве вспомогательной сервисной системы, дополняющей традиционную педагогическую образовательную модель.

При использовании перспективных образовательных моделей, активно применяющих системы информационной поддержки образовательного процесса ИОС, как уже отмечалось, используется для оперативного направленного индивидуализированного контроля текущего состояния образовательного процесса, осуществления корректирующих управляющих воздействий $U_N = \{u_1, \dots, u_N\}$ путем формирования и выдачи обучающимся индивидуальных корректирующих программ обучения и повторного контроля качества усвоения изучаемого материала.

Рассмотрим формализованную постановку данной задачи на основе концепции пространства состояния.

Пусть x_0 — начальное состояние обучающегося, x_N — конечное состояние, отвечающее завершению процесса обучения. В случае, когда образовательный процесс завершился успешно, в соответствии с критерием пригодности (5.1) конечное состояние обучающегося должно отвечать всем требованиям компетентностного подхода, то есть $x_N \in \{X_0\}$.

Если текущее состояние x_k представляет m -мерный вектор характеристических параметров, то программа обучения будет соответствовать некоторой траектории в m -мерном фазовом пространстве $X_N = \{x_1, \dots, x_N\}$, где $x_N \in \{X_0\}$. В идеальном случае оптимальная образовательная траектория $X_N^* = \{x_1^*, \dots, x_N^*\}^*$ должна представлять собой прямую линию (т.е. равномерное накопление компетентностных знаний), однако на практике, в силу специфики методических аспектов подготовки специалистов, она может иметь более сложную форму.

В случае отклонения индивидуального процесса обучения от оптимальной программы, то есть возникновения на каком-то k -м шаге отклонения $\delta x_k = \mu(x_k^* - x_k) \neq 0$, формируется корректирующее управление u_k , направленное на минимизацию величины δx_k . Таким образом, в качестве оптимального управляющего образовательного воздействия выступает величина $u_k^* \in U_0$ такая, что $\delta x_k \rightarrow \min$, где U_0 — множество допустимых управлений.

Как правило, качество ИОС, даже в системе индивидуального корректирующего обучения, не может оцениваться на основе одной

единственной реализации. В связи с этим используется статистическое усреднение по множеству реализаций (т.е. по множеству обучающихся) или вероятностная оценка.

Данный подход позволяет рассматривать ИОС как элемент специализированной корректирующей системы управления образовательным процессом. При этом ее центральной функциональностью является электронный контроль и формирование корректирующей программы $U_N = \{u_1, \dots, u_N\}$.

Предположим, что $U_N^* = \{u_1, \dots, u_N\}^*$ — оптимальная программа корректирующего управления. Однако качество информации $Q_{IS}(I_k)$, поставляемой ИОС, может привести к тому, что будет реализована корректирующая программа $U_N = \{u_1, \dots, u_N\}$, отличающаяся от U_N^* , то есть $\mu(U_N^* - U_N) \neq 0$. В результате этого к моменту завершения обучения обучающийся оказался в некотором состоянии $x_N \neq x_N^*$. Такой дескрипт позволяет использовать ранее предложенные критерии эффективности и получить конкретные формы оценки качества ИОС.

ИОС является *эффективной по критерию пригодности*, если качество предоставляемой ей информации $Q_{IS}(I_k)$, $k=1, \dots, N$ является достаточным для реализации программы управления $U_{0N} = \{u_1, \dots, u_N\}_0$ такой, что:

— состояние обучающихся на момент завершения учебы $k=N$ отвечает требованиям квалификационных характеристик, то есть $x_N \in \{X_0\}$;

— состояние обучающихся на момент завершения учебы $k=N$ в среднем отвечает требованиям квалификационных характеристик, то есть $\bar{x}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \in \{X_0\}$.

— вероятность достижения обучающимися на момент завершения учебы $k=N$ состояния, отвечающего требованиям квалификационных характеристик, превышает заданную величину $P_0 = \alpha_0$, то есть $P(x_N \in \{X_0\}) > \alpha_0$.

Далее, ИОС является *эффективной по критерию превосходства*, если качество предоставляемой ей информации

$Q_{IS}(I_k)$, $k=1, \dots, N$ является достаточным для реализации программы управления $U_N^0 = \{u_1, \dots, u_N\}^0$, такой, что:

— состояние обучающихся на момент завершения учебы $k = N$ будет превосходить требования квалификационных характеристик или параметры модели-прототипа $\mu(x_N - x_N^0) > 0$ в смысле выбранной метрики μ ;

— вероятность того, что состояние обучающихся на момент завершения учебы $k = N$ превосходит (для выбранной метрики μ) требования квалификационных характеристик или параметры модели-прототипа $P\{\mu(x_N - x^0) > 0\} > \alpha^0$.

Наконец, ИОС является *эффективной по критерию оптимальности*, если качество предоставляемой ей информации $Q(I_k)$, $k=1, \dots, N$ является достаточным для реализации оптимальной программы управления $U_N^* = \{u_1, \dots, u_N\}^*$ такой, что:

— состояние обучающихся на момент завершения учебы $k = N$ превосходит (для выбранной метрики μ) требования квалификационных характеристик и выходные параметры $\{x_{Nl}, l=1, \dots, L\}$ всех известных моделей-прототипов $\mu(x_N - x_{Nl}^0) > 0$, $l=0, 1, \dots, L$, то есть $\{\mu(x_N - x^0) > 0 \ \& \ \mu(x_N - x_{Nl}^0) > 0 \ \forall l=1, \dots, L\}$;

— состояние обучающихся на момент завершения учебы $k = N$ в среднем превосходит (в смысле выбранной метрики μ) требования квалификационных характеристик и выходные параметры всех известных моделей-прототипов, то есть:

$$\{\mu(\bar{x}_N - x^0) > 0 \ \& \ \mu(\bar{x}_N - x_{Nl}^0) > 0 \ \forall l=1, \dots, L\};$$

— вероятность того, что состояние обучающихся на момент завершения учебы $k = N$ превосходит (для выбранной метрики μ) требования квалификационных характеристик и выходные параметры всех известных моделей-прототипов на заданную величину α , то есть:

$$P\{\mu(x_N - x^0) > 0 \ \& \ \mu(x_N - x_{Nl}^0) > 0 \ \forall l=1, \dots, L\} > \alpha.$$

Заметим, что последнее определение (так же, как и в случаях АСУ или АИС) можно поставить в более жесткой форме:

— вероятность того, что состояние обучающихся на момент завершения учебы $k = N$ превосходит (для выбранной метрики μ) требования квалификационных характеристик и выходные параметры всех известных моделей-прототипов является наибольшей на множестве реализуемых (известных) ИОС:

$$P\{\mu(x_N - x^0 > 0 \ \& \ \mu(x_N - x_{Nl} > 0 \ \forall l = 1, \dots, L)\} = \max.$$

Другое замечание следует отнести к вопросу, связанному с оптимизацией программы корректирующего управления. В частности, в рассмотренных выше определениях допускались любые допустимые управления (а значит, и траектории образовательного процесса $\{x_0, \dots, x_N\}$). В тоже время в условиях ограниченного временного или педагогического ресурса задача определения оптимальной ИОС может быть выражена через требование последовательного предоставления образовательной информации $\{I_0, \dots, I_N\}$ с качеством $\{Q_{IS}(I_k), k = 1, \dots, N\}$, обеспечивающим наилучшую (в заранее определенном смысле) программу корректирующего управления $\{u_0, \dots, u_{N-1}\}$.

6. Заключение. Основным выводом из предложенных материалов следует считать принципиальную возможность и необходимость количественного оценивания эффективности информационных систем и технологий через положительный эффект, достигаемый метасистемой, в интересах которой они созданы и применяются.

Для успешного применения описанной в статье методологии следует учесть два замечания.

Первое из них связано с тем фактом, что и сама метасистема, в интересах которой создавалась ИС, может не являться терминалом. Например, для АСУ ТП метасистемой является технологический процесс. Однако реальный эффект достигается не на выходе ТП, а на выходе всего производственного цикла. Более того, и товарная продукция не отражает конечный эффект, ее необходимо еще продать, и учесть всю совокупность издержек. Поэтому выбор этапа, на котором осуществляется оценка положительного эффекта, как и выбор самого критерия эффективности, остается субъективной экзогенной задачей, формируемой на уровне здравого смысла.

Второе замечание связано с тесной взаимосвязью предложенного подхода с теорией риска. В частности, в качестве оценки эффективности ИС по критерию пригодности предложено использовать вероятность пре-

вышения достигнутым положительным эффектом минимального порогового значения $P\{Eff_{MS}[Q_{IS}] > Eff_0\} \geq P_0$. Следовательно, последнее соотношение можно трактовать как вероятность выполнения стоящей перед ИС задачи. Соответственно, дополнительная величина $Q_0 = 1 - P_0$ представляет собой вероятность невыполнения поставленной задачи, что совпадает с вероятностным определением понятия риска.

Указанная взаимосвязь позволяет использовать для оценивания эффективности ИС методологии и технологии автоматизированного расчета рисков структурно-сложных систем [32, 33].

Литература

1. *Соловьев И.В., Кочеткова Л.Н.* Философия информации как всеобщая методология развития // Российский технологический журнал. 2014. №3(4). С. 29–37.
2. *Соколов А.В.* Философия информации: учебное пособие // Челябинск: ЧГАКИ. 2011. 454 с.
3. *Коллин К.К.* Философия информации: структура реальности и феномен информации // Интелпрос. 2013. №4. С. 66–84.
4. *Хлебников Г.В.* Философия информации Л. Флориды // Интелпрос. 2013. №4. С. 35–48.
5. *Юсупов Р.М., Заболотский В.П.* Концептуальные и научно-методологические основы информатизации // СПб: Наука. 2009. 542 с.
6. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция) // М.: Экономика. 2016. 421 с.
7. ISO:9000:2015: fourth edition. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en> (дата обращения: 26.11.2016).
8. Международный стандарт МЭК 50 (191)-90. Надежность и качество услуг. Термины и определения. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/gosts/21964> (дата обращения: 26.11.2016).
9. FEA Consolidated Reference Model Document. Version 2.3. 2015. URL: <http://www.slideshare.net/WillyDevNET/fea-crm-v23finaloct> (дата обращения: 26.11.2016).
10. Методические рекомендации по подготовке докладов о результатах и основных направлениях деятельности субъектов бюджетного планирования. Минфин РФ. МЭРТ РФ. 2008. URL: <https://www.google.ru/url?sa=t&rcet=j&q=&esrc=s&source=web> (дата обращения: 26.11.2016).
11. *Зиндер Е.* Что такое «эффективность ИТ»? // Intelligent Enterprise. 2006. №8. URL: <https://www.iemag.ru/master-class/detail.php?ID=15727> (дата обращения: 26.11.2016).
12. CIO Insight. The voice of CIO community. URL: www.cioinsight.com. (дата обращения: 21.11.2016).
13. *Арутюнян М.* и др. Демистификация ИТ: Что на самом деле информационные технологии дают бизнесу // М.: Альпина Бизнес Букс. 2006. 296 с.

14. *Ермошкин Н.Н.* Шесть способов оценить пользу и эффективность информационных технологий // *Банковский ритейл*. 2006. №4. URL: <https://www.lawmix.ru/bux/76476> (дата обращения: 21.11.2016).
15. *Анишина М.* Оценка эффективности ИТ // *Журнал школы IT-менеджмента «Системы управления бизнес-процессами»*. Академия народного хозяйства при Правительстве РФ. 2011. Вып. № 7. URL: <http://journal.itmane.ru/node/591> (дата обращения: 20.11.2016).
16. ROI 2003: Do You Have Any Faith In Your ROI Numbers? URL: <http://www.cioinsight.com/c/a/Research/ROI-2003-Do-You-Have-Any-Faith-In-Your-ROI-Numbers#sthash.uvUbGa45.dpuf> (дата обращения: 20.11.2016).
17. *Strassmann P.A.* The squandered computer. Evaluating the business alignment of information technologies // *New Canaan: Information Economics Press*. 1997. 232 p.
18. *Pisello T., Strassmann P.* IT value chain management. Maximizing the ROI from IT investment // *New Canaan: Information Economics Press*. 2003. 236 p.
19. *Ананьин В.И.* В поисках эффективности ИТ // *Intelligent Enterprise*. 2009. № 7. URL: <https://www.iemag.ru/analytics/detail.php?ID=18833> (дата обращения: 15.11.2016).
20. *Скряпкин К.Г.* Экономическая эффективность информационных систем // М.: ДМК Пресс. 2003. 256 с.
21. *Кэпп Н.* Блеск и нищета информационных технологий. Почему ИТ не являются конкурентным преимуществом // М: Секрет фирмы. 2005. 176 с.
22. *Новак Е.В.* Информационно-коммуникационные технологии: оценка эффективности // *Информационные технологии*. 2014. № 8. С. 74–80.
23. *Новак Е.В.* Как измерить эффективность информационно-коммуникационных технологий // *Статистика и экономика*. 2014. № 3. С. 186–191.
24. *Bresnahan T., Brynjolfsson E., Hitt L.* Information Technology, Workplace Organisation and Demand for Skilled Labor: An Empirical Evidence // *Quarterly Journal of Economics*. 2002. vol. 117. no. 1. pp. 339–376.
25. *Brynjolfsson E., Hitt L., Yang S.* Intangible Assets: Computers and Organization Capital // *Brookings Papers on Economic Activity*. 2002. no. 1. pp. 137–198.
26. Эффективность инвестиций в ИТ. Альманах лучших работ // *Information Management*. 2012. 196 с.
27. *Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.* Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике: Математические, эвристические и интеллектуальные методы системного анализа и синтеза // М.: Ленанд. 2015. 306 с.
28. *Белов П.Г.* Управление рисками, системный анализ и моделирование // Люберцы: Юрайт. 2016. 272 с.
29. *Дрогобыцкий И.Н.* Системный анализ в экономике: учебник // М.: ЮНИТИ. 2016. 423 с.
30. *Кириллов В.И.* Квалиметрия и системный анализ // М.: ИНФРА-М. 2012. 440 с.
31. *Козлов В.Н.* Системный анализ, оптимизация и принятие решений // М.: Проспект. 2016. 176 с.
32. *Гладкова И.А., Можжев А.С., Мусаев А.А.* Метод логико-детерминированного моделирования сетевых систем // *Известия СПбГТИ*. 2012. Вып. 12(38). С. 89–92.
33. *Мусаев А.А., Нозик А.А., Русинов Л.А.* Прогностический анализ безопасности промышленного предприятия // *Известия СПбГТИ*. 2016. №34(60). С. 87–93.

Юсупов Рафаэль Мидхатович — д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки и техники РФ, директор, 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)3283311, Факс: +7(812)328-4450.

Мусаев Александр Азерович — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), декан факультета информационных технологий и управления, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Область научных интересов: анализ данных, управление и прогнозирование в сложных динамических системах, стохастические и хаотические системы. Число научных публикаций — 245. amusaev@technolog.edu.ru; 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7(812)4949323, Факс: +7(812)3501113.

R.M. YUSUPOV, A.A. MUSAEV
**EFFICIENCY OF INFORMATION SYSTEMS AND
 TECHNOLOGIES: FEATURES OF ESTIMATION**

Yusupov R.M., Musaev A.A. Efficiency of Information Systems and Technologies: Features of Estimation.

Abstract. The task of creating a methodology for evaluating the efficiency of information systems and technologies is considered. A distinctive feature of information systems is their service nature which results in the need of indirect estimation of their efficiency through terminal positive effect of metasytem, for the benefit of which this system was created or adapted.

The brief summary of the existing approaches and techniques for estimating efficiency of information systems and technologies is provided. Ambiguity of the used efficiency measurements, resulting in the difficulties of the creation of a formalized, numerical technique for efficiency estimation, was revealed.

The quantitative efficiency evaluations of an information system, which take into account the probabilistic nature of the basic data used for creation of these estimates, are offered. The options of necessary and sufficient criteria for efficiency of information systems, expressed through efficiency of metasystems for the benefit of which they function, are provided.

Keywords: information; information systems; information technology; efficiency; quality; methodology; probabilistic approach; systems analysis; ACS; logical-probabilistic method.

Yusupov Rafael Midhatovich — Ph.D., Dr. Sci., professor, Corr. Member of RAS, Honored Worker of Science and Technology of Russian Federation, director, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), president of NP National Simulation Society («NSS»). Research interests: control theory, informatics, modeling, theoretic basics of informatization and information society, information security. The number of publications — 390. spiran@iiias.spb.su; 39, 14-th Line, St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7-812-328-3311, Fax: +7(812)328-4450.

Musaev Alexander Azerovich — Ph.D., Dr. Sci., professor, leading researcher, laboratory of IT in System Analysis and Modeling of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), dean of IT and control systems department, St. Petersburg State Technological Institute (technical university). Research interests: data analysis, complicated dynamic processes prognosis and control, stochastic chaos systems. The number of publications — 245. amusaev@technolog.edu.ru; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)4949323, Fax: +7(812)3501113.

References

1. Solovjov I.V., Kochetkova L.N. [Information philosophy as general methodology of development]. *Russkiy tehnologicheskij gurnal – Russian technological journal*. 2014. vol. 3(4). pp. 29–37. (In Russ.).
2. Sokolov A.V. *Filosofia informacii* [Philosophy of information]. Chelyabinsk: ChSASI. 2011. 454 p. (In Russ.).
3. Colin K.K. [Information philosophy: structure of reality and phenomenon of information]. *Intelros – Intelros*. 2013. vol. 4. pp. 66–84.
4. Clebnikov G.V. [Philosophy of information of L. Floridi]. *Intelros – Intelros*. 2013. vol. 4. pp. 35–48. (In Russ.).

5. Yusupov R.M., Zabolotski V.P. *Conceptualnie, nauchnie I metodologicheskie osnovi informacii* [Conceptual, scientific and methodological bases of information]. S.Petersburg: Nauka. 2009. 542 p. (In Russ.).
6. *Metodicheskie rekomendacii po ocenke jeffektivnosti investicionnyh proektov (Vtoraja redakcija)* [Methodical recommendations according to efficiency of investment projects (Second ed.)]. Moscow: Economica. 2016. 421 p. (In Russ.).
7. ISO:9000:2015: fourth edition. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en> (accessed 26.11.2016).
8. IEC 50 (191)-90. [International Standard. Reliability and quality of service. Terms and Definitions]. Available at: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/gosts/21964> (accessed 26.11.2016). (In Russ.).
9. FEA Consolidated Reference Model Document Version 2.3. 2015. Available at: <http://www.slideshare.net/WillyDevNET/fea-crm-v23finaloct>. (accessed 26.11.2016).
10. Metodicheskie rekomendacii po podgotovke dokladov o rezul'tatah i osnovnyh napravlenijah dejatel'nosti sub#ektov bjudzhetnogo planirovanija [Guidelines for reporting on the results and main activities of the subjects of budget planning]. Minfin R.F. MERT RF. 2008. Available at: <https://www.google.ru/url?sa=t&rc=jq=&esrc=s&source=web> (accessed 26.11.2016). (In Russ.).
11. Zinder E. [What is "IT efficiency"?]. *Intelligent Enterprise*. 2006. vol. 8. Available at: <https://www.iemag.ru/master-class/detail.php?ID=15727> (accessed 26.11.2016). (In Russ.).
12. CIO Insight. The voice of CIO community. Available at: www.cioinsight.com. (accessed 21.11.2016).
13. Arutyunyan M. et al. *Demistifikaciya IT: Chto deistvitelno dayut informacionnie tehnologii biznesu?* [Demystifying IT: What actually give the information technology business]. Moscow: Alpina Business Books. 2006. 296 p. (In Russ.).
14. Ermoshkin N.N. [Six ways to evaluate the usefulness and efficiency of information technology]. *Riteil Banking – Retail Banking*. 2006. vol. 4. Available at: <https://www.lawmix.ru/bux/76476> (accessed 21.11.2016). (In Russ.).
15. Anshina M. [Assessment of IT effectiveness]. *Zhurnal shkoli IT-menegmenta "Bisnes proces menegment systems"- Journal of School of IT-management "Business process management systems."* 2011. vol. 7. Available at: <http://journal.itmane.ru/node/591> (accessed 20.11.2016). (In Russ.).
16. ROI 2003: Do You Have Any Faith In Your ROI Numbers? Available at: <http://www.cioinsight.com/c/a/Research/ROI-2003-Do-You-Have-Any-Faith-In-Your-ROI-Numbers#sthash.uvUbGa45.dpuf> (accessed 20.11.2016).
17. Strassmann P.A. The squandered computer. Evaluating the business alignment of information technologies. New Canaan: Information Economics Press. 1997. 232 p.
18. Pisello T., Strassmann P. IT value chain management. Maximizing the ROI from IT investment. New Canaan: Information Economics Press. 2003. 236 p.
19. Ananjin V.I. [In the search of IT efficiency]. *Intelligent Enterprise*. 2009. vol. 7. Available at: <https://www.iemag.ru/analitics/detail.php?ID=18833> (accessed 15.11.2016). (In Russ.).
20. Skripnik K.G. *Economicheskaya effektivnost informacionnih sistem* [The cost-effectiveness of information systems]. Moscow: DMK Press. 2003. 256 p. (In Russ.).
21. Carr N. *Blesk I nisheta informacionnih tehnologii* [Shine and poverty of information technology. Why IT is not a competitive advantage]. Moscow: Company's secret. 2005. 176 p. (In Russ.).
22. Novak E.V. [Information and communication technologies: evaluation of the effectiveness]. *Informacionnie tehnologii – Information Technology*. 2014. vol. 8. pp. 74–80. (In Russ.).

23. Novak E.V. How to measure the effectiveness of information and communication technologies. *Statistics and Economics*. 2014. vol. 3. pp. 186–191.
24. Bresnahan T., Brynjofsson E., Hitt L. Information Technology, Workplace Organization and Demand for Skilled Labor: An Empirical Evidence. *Quarterly Journal of Economics*. 2002. vol. 117. no. 1. pp. 339–376.
25. Brynjofsson E., Hitt L., Yang S. Intangible Assets: Computers and Organization Capital. *Brookings Papers on Economic Activity*. 2002. vol. 1. pp. 137–198.
26. *Effectivnost IT investitsiy. Al'manah luchshih rabot* [The effectiveness of IT investments. Almanac best works]. Information Management. 2012. 196 p. (In Russ.).
27. Andreychikov A.V., Andreychikova O.N. *Sistemni analiz b sintez strategicheskikh resheniy v innovatsiyah: matematicheskii, evristicheskie i intellektualnie metody sistemnogo analiza i sinteza* [System analysis and synthesis of strategic decisions in innovation: Mathematical, heuristic and intelligent methods of system analysis and synthesis]. Moscow: Lenand. 2015. 306 p. (In Russ.).
28. Belov P.G. *Risk menedjment, sistemni analiz i modelirovanie* [Risk management, systems analysis and modeling]. Lyuberci: Yurait. 2016. 272 p. (In Russ.).
29. Drogobicki I.N. *Sistemni analiz v ekonomike: uchebnyk* [System analysis in economics: textbook] Moscow: UNITI. 2016. 423 p. (In Russ.).
30. Kirillov V.I. *Kvalimetriya i sistemni analiz* [Qualimetry and Systems Analysis]. Moscow: INFRA-M. 2012. 440 p. (In Russ.).
31. Koslov V.N. *Sistemni analiz, optimizatsiya i prinyatie reshenii* [System analysis, optimization and decision-making]. Moscow: Prospect. 2016. 176 p. (In Russ.).
32. Gladkova I.A., Mogaev A.S., Musaev A.A. [Method of the logical determined modeling of network systems]. *Izvestiya SPbGTI – SPbSIT News*. 2012. vol. 12(38). pp. 89–92. (In Russ.).
33. Musaev A.A., Nozik A.A., Rusinov L.A. [Predictive analysis of safety of the industrial enterprise]. *Izvestiya SPbGTI – SPbSIT News*. 2016. vol. 34(60). pp. 87–93. (In Russ.).