

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Громов А.И., Ставенко Ю.А.

НИУ «Высшая школа экономики», г. Москва

Предложен подход к решению задачи мониторинга бизнес-процессов на основе энтропийных характеристик информационного пространства действующей бизнес системы, которая рассматривается с позиций описания поведения и моделирования открытых систем. Учтена временная составляющая протекания процесса. Описан метод оценки устойчивости динамической структуры бизнес-процесса. Предложен алгоритмический подход к реализации задачи энтропийного мониторинга бизнес системы и её процессов. Данное исследование проводилось в рамках договора № 13.G25.31.0096 с Министерством образования и науки Российской Федерации о «Создании высокотехнологичного производства кросс-платформенных систем обработки неструктурированной информации на основе свободного программного обеспечения для повышения эффективности управления инновационной деятельностью предприятия в современной России».

Введение

После 30-ти летнего увлечения моделированием и описанием бизнес-процессов мир, кажется, пришел к некоторой стабилизации и разделению рынка решений на тяжелые, средние и легкие, как в ценовом выражении, так и в функциональном. Однако, 85% этих реализаций основывается на традиционном «причинно-следственном» подходе к описанию деятельности, оставшиеся отдают предпочтение ролевому и ситуационному моделированию. Те же, кого волнует информационная составляющая, подходят к этому сугубо прагматично в целях построения, реализации или продажи ИТ систем в бизнес структуры. Фактически именно поэтому термин «архитектура предприятия» стал носить сугубо практический смысл с точки зрения ИТ практик, а не глобального целостного подхода к моделированию систем, с чего он и начинался.

Этот сугубо прагматический мир не успел или не захотел заметить, что бизнес системы, которые подлежали моделированию, по своей сути являются, так называемыми, большими сложными системами, и для них уже целое столетие готовился аппарат описания и моделирования. Обычно бизнес система ограничивается или выделяется эвристически, т.е. невозможно сформулировать аксиоматический подход для решения этой

задачи. Поэтому такие эвристически выделенные системы дальше описывают, моделируют либо с дескриптивной, либо нормативной точки зрения.

При дескриптивном подходе изучаются свойства системы, а целью является выявление закономерностей проявления этих свойств и способов управления ими. При нормативном подходе происходит моделирование определенных свойств в процессе проектирования системы. С этой точки зрения из всех существующих методик моделирования бизнес систем, методология ARIS (IDS Scheer) наиболее полно соответствует теоретическим основам больших систем.

А.Панченков сформулировал очень важную аксиому: *Энтропия большой системы – сохраняющаяся величина* [1].

Суть этой аксиомы очевидна, постулируется, что функционирование большой (бизнес) системы происходит в интеллектуальной среде, которая отождествляется с виртуальной сплошной средой. Именно степень интеллектуализации бизнес среды определяет дрейф энтропии. Данное положение имеет весьма существенные следствия для бизнес-систем.

Следствие 1. Время жизни бизнес-системы ограничено уровнем её собственного интеллекта отнесенного к количеству операций, совершаемых системой за единицу времени. Иначе, если бизнес-система не уделяет внимание повышению квалификации и уровня знаний в операционной деятельности и стратегическом управлении, она обречена на гибель.

Следствие 2. Управление бизнес-системой должно вестись на основании непрерывной оценки энтропии выделенной виртуальной сплошной среды.

Следствие 3. Любое отклонение (изменение) энтропии виртуальной сплошной среды свидетельствует об изменении плотности, что в свою очередь является признаком нарушения семантической связности (операционной ошибки) функционирующей среды.

Современный аппарат моделирования довольно хорошо умеет описывать бизнес системы и структуры. Однако эти модели в основном предназначены для проведения структурного анализа, а для полноты системного анализа необходимо моделирование динамических режимов протекания бизнес-процессов, в том числе нелинейных. Здесь нелинейной структурой назовем такой тип эволюции процесса, при котором динамика системы существенно зависит от ее состояния в текущий момент времени. В частности, наиболее важной проблемой является описание эволюции быстропротекающих процессов, в которых, как правило, влияние случайных факторов может оказывать существенное воздействие на их поведение.

Именно подобные процессы, являющиеся основной задачей мониторинга бизнес-процессов, ускользают от используемых современных

методов контроля и управления, но по результатам воздействия на всю систему, оказываются чрезвычайно влиятельными, а в ряде случаев губительными. В таких системах присутствует, как правило, стохастический характер взаимодействия, и нередко является влиятельным диссипативный фактор, наличие которого может значительно изменить ход действия процесса. Семантическое определение мониторинга бизнес системы выглядит следующим образом. *Мониторинг бизнес системы это непрерывное наблюдение и анализ текущего состояния бизнес системы, функционирующей в стохастической среде, с целью повышения её эффективности, качества и устойчивости, снижения влияния рисков, а также прогнозирования дальнейшего как краткосрочного, так и долгосрочного развития.*

Иначе говоря, процесс реализации обратных связей функционирующей среды с целью повышения её устойчивости является, по сути, мониторингом бизнес системы.

Необходимо отметить несколько очевидных позиций.

Во-первых, в основе любой бизнес системы лежит некоторый проект, который существует до её реализации и на его основе бизнес-система создается. Формально, проект это исходные данные для задачи мониторинга.

Во-вторых, регулярная траектория развития системы, это траектория её функционирования в соответствии с проектом. Следует отметить, что ни одна реальная бизнес-система не движется по регулярной траектории, и основная задача управления, т.е. мониторинга, сводится к возврату движения системы в некоторую область траектории развития. Здесь прямая аналогия с управлением автомобилем, при более тщательном рассмотрении можно обнаружить, что водитель совершает множественные возвраты движущегося автомобиля к некоторой проектной траектории как малыми отклонениями, так и существенными изменениями маршрута (траектории), например, из-за пробок.

Несомненно, любая система всегда в той или иной степени подчиняет себе ее элементы, определяя их поведение, поэтому если конкретный элемент развивается без учета общего направления развития системы, то последняя все равно скорректирует динамику отдельного элемента. В частности никто ещё не отменил армейский закон: «не знаешь - научим, не хочешь – заставим», который эффективно действует во всех армиях мира. Такой системный подход находит применение и на практике при анализе поведения сложных систем [2].

Поэтому разумно применять системные теории, которые рассматривают совокупность взаимодействующих бизнес-процессов как целостную большую систему. Причем целостность характеризуется тройной взаимозависимостью, а именно, взаимозависимость каждой из ее важнейших частей, затем зависимость каждой из ее частей от всей системы

(в данном случае учитываются граничные условия системы в выбранном фазовом пространстве) и, наконец, зависимость всей системы от ее конкретной части, или сочетания частей. Стоит отметить, что синтез всех этих взаимосвязей приводит нас к необходимости учета сложной нелинейности процессов.

Любые реальные системы можно описать, как определенный набор тривиальных элементов системы или подсистем. Но этот набор непременно должен включать элементы, выходящие за пределы границ структуры или пограничные, являющие источником и причиной диссипативного фактора, который, в свою очередь, является основным источником информации, так необходимым для функционирования системы. Кроме того, должно учитывать структуру распределения потоков информации внутри системы и стохастический характер взаимодействия этих потоков.

В этой работе предпринята попытка нового подхода к описанию поведения и управления в структурах сложных бизнес-процессов в терминах энтропии и энтропийного баланса. Выбор данного подхода обусловлен тем, что в сложных системах (бизнес-процессах) на первый план выходит не материальная, а информационная составляющая процесса, учитывающая качественные уникальные характеристики, как отдельных элементов, так и связи этих элементов, а также, что важно, вероятность распределения потоков информации, что подчеркивается в целом ряде работ различных авторов [2], [3], [4].

Проблема сложности бизнес-процесса – это в первую очередь проблема структурной организации бизнес-процесса. Следующая проблема сложности относится к задаче информационной сложности принятия решения или выполнения задачи. В данном случае процесс может быть примитивным с точки зрения структуры, и одновременно, чрезвычайно сложен с точки зрения использования многоплановой информации для своего выполнения. Например, некоторые авторы в своих работах рассматривают энтропию динамических процессов с помощью энтропии, основанной на измерении неопределенности выполнения модели бизнес-процессов. Эта неопределенность определяется в терминах переходов при выполнении потока работ. Процесс в этом случае разбивается на примитивные сценарии, для каждого из которых определяется вероятность исполнения на основе анализа прошлого поведения в выполнении процессов. На основании подсчета вероятностей последовательных переходов и последующего их умножения можно получить вероятность выполнения процесса и соответственно меру неопределенности модели процесса [5].

В условиях неустойчивости (неизбежное слабоуправляемое изменение структуры системы) естественный разрыв, реорганизация или формирование новых связей, появление или исчезновение элементов в

системе – это задачи порождения или исчезновения информации, что в свою очередь меняет энтропию всей системы.

Энтропийный подход к описанию неопределенности в системе позволит сформулировать закономерности энтропийного равновесия и обосновать возникновение неустойчивостей и «катастроф» от таких источников, как воздействия субъектов бизнес-процесса на его протекание, а также структуры бизнес-процесса.

Именно изучение энтропии как подхода к изучению бизнес-процессов является основной задачей данного исследования, поскольку неконтролируемое увеличение энтропии (в результате неустойчивости) приводит к росту неопределенности или хаосу в протекании бизнес-процесса, что в конечном итоге может привести к разрушению системы. В отдельных случаях подобные изменения могут привести к возникновению других ветвей развития – бифуркаций бизнес-процессов. По сути, все существующие практики управления бизнес-процессами сводятся к решению одной главной задачи, к устранению неопределенности в управляемой системе или при принятии решения.

Некоторые исследователи для подобного измерения бифуркаций бизнес-процессов используют функции, определяющие энтропию по частоте упоминания ключевых слов в корпусе текстов, определяя таким образом изменение бизнес-процессов во времени. Функция интервальной меры энтропии определяет временные интервалы, в течение которых ключевые слова имеют неравномерное распределение: имеют высокую частоту упоминания. После вычисления интервальной энтропии для корпусов текстов TDT-Pilot и компании Enron было выявлено, что измеряемая мера энтропии на основании частотного распределения ключевых слов в интервал времени очень эффективна для определения изменчивости бизнес-процессов, временных трендов, корреляций событий по корпусам тестов [6].

Следует отметить, что изменение энтропии может быть вызвано двумя факторами: изменение энтропии в результате внутреннего взаимодействия составных элементов сложной системы, а также изменение энтропии за счет взаимодействия системы с «внешним окружением», то есть притока или оттока информации извне или окружающего рассматриваемую систему пространства (для диссипативных систем). Однако, как было отмечено ранее, любое изменение энтропии системы является следствием изменения информационной (контентной) плотности среды, т.е. внутренних или внешних отклонений от траектории развития системы.

Таким образом, основная проблема, связанная с изучением динамики бизнес-процессов в широком смысле слова, состоит в достижении понимания закономерностей эволюции этих процессов с учетом их структуры, внутренних связей, а также стохастического и диссипативного

факторов. Наиболее проста в анализе закономерность эволюции изолированных (консервативных) систем, в которых из структуры информационного обмена исключены внешние воздействия. По аналогии со вторым законом термодинамики, в этих системах могут иметь место лишь такие динамические явления, в которых энтропия не убывает, а растет со временем и, поэтому изменение их структуры может идти лишь в сторону увеличения неопределенности. Их стационарное состояние – устойчивое равновесие с максимальной энтропией.

Диссипативные же системы обладают большей устойчивостью, однако задача их эволюции отнюдь не тривиальна, поскольку области устойчивого протекания бизнес-процессов значительно уже, а значит, и управление данными процессами представляется более сложной задачей. Для диссипативных систем также характерно наличие некоторого порога воздействия, до превышения которого система попросту не «реагирует» на влияние внешних факторов. Однако, стоит указать еще на один факт – диссипативные системы имеют дискретный набор параметров, при которых система может существовать, что накладывает определенные ограничения на эволюцию процессов [7]. Тем самым выявление набора таких параметров устойчивого развития процессов в условиях сильной неопределенности информационного поля является основной задачей исследования.

Постановка задачи

В современных подходах все временные зависимости характерны для отдельных показателей бизнес-процессов, однако же, динамика самих процессов и их жесткая временная зависимость остаются вне поля зрения исследований. Подобное упрощение становится критичным в случае необходимости учета в бизнес-процессах хаотичности или неопределенности восприятия и передачи информации между элементами системы, что в свою очередь наиболее характерно для реальных условий российской действительности. К тому же, зачастую, на хаотическую структуру обмена информацией существенное влияние может оказывать внешнее возбуждение, особенно когда речь заходит о резком воздействии. Примером такого воздействия может служить резкий обвал котировок акций на фондовых биржах, когда состояние «игроков» становится близким к паническому и начинают строиться долгосрочные прогнозы. В целом можно констатировать, что чрезвычайная рефлексия при высоком уровне энтропии среды неизбежно ведет к потере устойчивости, ошибкам или упущенным рискам.

Для описания бизнес-процесса требуется четкий подбор математической модели, отражающей все содержательные характеристики системы, ее структуру, внутренние связи, степень хаотичности,

семантическую структуру и лексемный набор, характерный для конкретной деятельности. Данная модель должна учитывать эволюцию во времени как всей системы, так и всех ее элементов в отдельности, что позволит описать интегральный бизнес-процесс, провести оценку качества и рисков его функционирования, найти возможные пути совершенствования, и, в идеале, перевести систему в состояние самосовершенствования. Условная схема такой модели может подразумевать три важных этапа эволюции от простой структуры в момент времени t_0 (рис. 1а) через «добавление» хаотичности (рис. 1б), что приводит к увеличению неопределенности, неструктурированности, а значит и энтропии, к более организованной оптимальной структуре за минимальное время (рис. 1в).

Следует отметить, что данная схема справедлива для практически всех ситуаций реструктуризации, реформирования, совершенствования, реинжиниринга, перестройки любой структуры, в том числе, создаваемой заново. Состояние 1а можно рассматривать как некоторую целевую установку или план действия, т.е. это необязательно должна быть исходная архитектура системы. Обращаясь в нашу недавнюю историю, можно заметить, что выполнимость данной модели, в том числе, для всех грандиозных замыслов, справедлива за тем лишь исключением, что реальность останавливается в фазе 1б с крайне вялыми попытками перехода в состояние 1в.

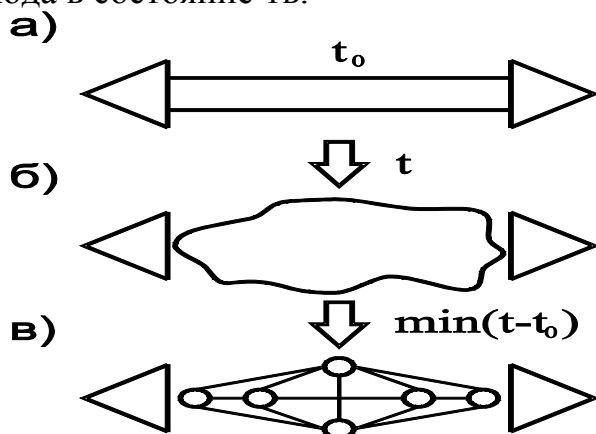


Рис.1 Структурная эволюция архитектуры деятельности

Для описания такой модели архитектуры деятельности необходимо найти соответствие реального пространства, в котором функционирует бизнес-среда, с виртуальной сплошной средой.

Виртуальная сплошная среда представляет собой абстрактный объект, в котором можно отметить важные три свойства. Во-первых, такая среда функционирует в фазовом пространстве, которое определяется системой координат (\mathbf{q}, \mathbf{p}) , где \mathbf{q} – обобщенная координата, \mathbf{p} –

обобщенный импульс виртуальной среды. Во-вторых, виртуальная среда эволюционирует во времени t . В-третьих, виртуальная сплошная среда характеризуется плотностью состояний $\rho = \rho(\mathbf{q}, \mathbf{p}, t)$. Плотность в данном случае представляется в матричной форме и, как это принято в квантовой механике [7], определяет состояние системы в данный момент времени, а также определяет структуру взаимодействия между элементами системы. И, наконец, важным для виртуальной среды становится понятие энтропии, которая определяется соотношением

$$H_\rho = - \int_{\Omega} \rho \ln \rho d\Omega, \quad (1)$$

где интегрирование ведется по всему фазовому пространству Ω . Таким образом, **четвёртым важнейшим свойством виртуальной сплошной среды становится информационное поле, характеризующее область деятельности реальной среды, являющее синхронизирующим фактором виртуальной и реальной сред.**

Фундаментальным свойством функционирования виртуальной сплошной среды является принцип максимума энтропии, сформулированный А.Панченковым [1]:

$$H_\rho^* = \max(H_\rho), \quad (2)$$

который приводит к тому, что энтропия системы сохраняет свое значение. Данный тезис справедлив для стационарных режимов хаотической динамики.

Из уравнений (1) и (2) путем простой подстановки и преобразований следует следующее фундаментальное свойство:

$$\int_{\Omega} \rho d\Omega = 1, \quad (3)$$

то есть в виртуальной сплошной среде, удовлетворяющей принципу максимума энтропии, суммарная плотность вероятности равна единице, а, следовательно, мы учли все возможные состояния системы и никаких других неопределенностей, помимо тех, которые присутствуют в системе, нет. Это, однако, не относится к диссипативному случаю, когда есть воздействие на систему извне. Диссипация может существенно изменить динамику системы, и для этого необходимо разработать несколько иные методики анализа таких систем. Однако в данной работе нет места для решения данной проблемы.

Отметим, что важным свойством является двойственность представления, которое в дальнейшем позволит нам перейти к дифференциальному уравнению, дающему возможность проследить динамику развития бизнес-процесса. Поскольку фазовое пространство мы можем принять в виде $\Omega = \Omega_q \times \Omega_p$ [6], то энтропия в таком случае примет вид:

$$H_p = H_q + H_r, \quad (4)$$

где H_q – структурная энтропия, а H_r – энтропия импульса. Здесь также стоит отметить важный факт, а именно, каждому случайному вектору соответствует своя энтропия. Двойственность представления энтропии также приводит к двум важным свойствам энтропии, поскольку не содержит в себе в явном виде плотность ρ :

- Энтропия инвариантна относительно физических свойств виртуальной сплошной среды и не является ее физической характеристикой.
- Энтропия может иметь геометрическую интерпретацию, когда объекты системы имеют не только функциональные значения, но и в некотором смысле важны их относительное расположение в рамках выбранного пространства и геометрии связей.

Итак, энтропийный подход к описанию структуры и динамики бизнес-процессов приводит к необходимости определения плотности (в математическом смысле) сложной системы и ее элементов, эволюционное развитие во времени которых описывается оператором Гамильтона H . Гамильтониан является оператором, определяющим геометрию, структуру, внутренние связи системы и полностью описывающим ее динамику и функционирование. Поведение системы описывает хорошо известное уравнение Лиувилля [8]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = [\rho, H], \quad (5)$$

где $[\rho, H] = \rho H - H\rho$ – скобки Пуассона. Оператор H в виде дополнительных слагаемых может содержать в себе диссипативный и стохастический факторы, благодаря которым мы будем называть систему диссипативной и стохастической.

Уравнение (5) будет являться фундаментальным уравнением для описания бизнес-процессов, которое учитывает сложную структуру взаимодействия, потоки информации внутри системы, диссипацию, случайную составляющую взаимодействия. Универсальной компонентой уравнения, описывающей любой бизнес-процесс, является оператор H . Однако, описание этого оператора для конкретных систем может быть отнюдь не тривиальной задачей. То есть методика заключается в нахождении Гамильтониана системы, выражающегося в описании важных характеристик элементов и связей через элементы матрицы плотности ρ . Затем, подставляя в (5) значение Гамильтониана с учетом начальных и граничных условий, решаем искомое уравнение (5) для нахождения

стационарной динамики процесса. А универсальной численной характеристикой качества или рисков бизнес-процессов будет являться величина энтропии, согласно соотношению (1).

На рис. 2 схематически отображена взаимозависимость показателей качества, рисков и знаний для сложных систем. Изменение одного из показателей в свою очередь меняет значения других. Все эти показатели данная модель будет выражать через величину энтропии (\mathcal{E}), а, соответственно, посредством элементов матрицы плотности ρ . Таким образом, получаем систему связанных уравнений, решение которой позволяет полностью описать качество, знания и риски, а, следовательно, и более корректно смоделировать как конкретный бизнес-процесс, так и систему взаимодействующих процессов.

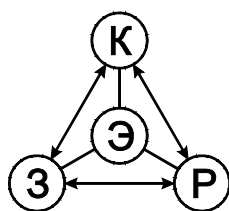


Рис. 2. Схематическое отображение отношения показателей качества (К), знаний (З) и рисков (Р)

Стоит отметить, что приток информации в систему извне является основным и важнейшим источником стабилизации и уменьшения энтропии. То есть, рассматривая информацию в процессе как кинетическую энергию системы, приводящую систему к продуктивному действию, мы понимаем, что в случае замкнутой системы, кинетическая энергия быстро исчерпает себя, и только открытые системы с притоком энергии могут развиваться, и продуцировать [9].

Система отношений категорий управления, изображенная на рис.2, обладает следующим свойством: знания, принадлежащие системе, пропорциональны качеству и обратно пропорциональны рискам. Если Знания и Качество являются одним плечом рычага управления, то Риск и Энтропия – противоположенным. Таким образом, прежде чем продолжать рассуждения, необходимо дать определения таким повседневным и качественным понятиям как Знания, Качество, и, конечно, Риск и Энтропия.

Определение 1. Знание суть информация, необходимая и материализуемая при разрешении неопределенности в системе.

Определение 2. Качество суть степень адекватности решения при необходимости реакции на внутренние и внешние изменения в системе, при этом под адекватностью мы понимаем минимум от интеграла по

контур времени от площади решения.

Определение 3. Риск суть цена свободы принятия решения, т.е. интеграл по времени от суммы степеней свободы (неопределенности) при принятии решения.

Определение 4. Энтропия суть степень неопределенности при принятии решения.

Эти определения являются семантическими, однако они дают возможность перейти к более строгим, математическим формулировкам. Семантические определения необходимы для прослеживания более очевидной взаимосвязи между этими понятиями.

Устойчивость

Любая эволюция может завершиться лишь тогда, когда система функционирует в режиме устойчивости к внешним возбудителям, в противном случае процесс будет протекать с большой неопределенностью результата и попросту может не выйти из очередного кризиса. В крайнем случае, неустойчивость может реализовываться на интервалах времени, значительно превышающих предполагаемое время функционирования бизнес-процесса. Такой сценарий также считается позитивным.

Проблеме устойчивости посвящено много научных разработок, однако область применимости каждой из них достаточно узка и требует специального подхода к каждому бизнес-процессу, нежели к широкому спектру систем. Данный факт позволяет сформулировать ключевую идею, которая должна быть положена в основу устойчивого развития: *устойчивое, значит, прежде всего, предвидимое, и лишь затем управляемое какими-либо воздействиями.* Следствием является определение качества для бизнес-процессов, как свойства системы к адекватному реагированию на внутренние и внешние изменения, то есть устойчивости.

Получив эволюционное уравнение (5) состояния нашего бизнес-процесса, важно знать не только динамику процесса, возможные режимы существования, но также и устойчивость этих режимов, то есть иметь представление о том, будут ли пренебрежимо малые возмущения нарастать со временем, что в конечном итоге приведет увеличению энтропии и разрушению системы. Анализ устойчивости уравнения (5) проводится также решением дифференциального уравнения путем поэлементного прибавления к элементам матрицы плотности ρ и оператору H (в диссипативном случае) малых добавок $\Delta\rho$ и ΔH соответственно [9]. В результате полученное уравнение (компоненту $\Delta\rho\Delta H$ считаем пренебрежимо малой, поэтому ее учет в анализе не ведется)

$$\frac{\partial \Delta \rho}{\partial t} = [\Delta \rho H] + [\rho \Delta H] \quad (6)$$

описывает динамику малых возмущений по времени с учетом состояния системы в текущий момент времени. Таким образом, задача устойчивости бизнес-процесса кажется не такой тривиальной, поскольку необходимо учитывать не только нынешнюю структуру системы, но и ее состояние, а это, учитывая необходимость применения численных методов для анализа сложных систем, не такая простая задача. Метод Ляпунова [12] для решения уравнения (6) подразумевает представление $\Delta \rho$ и ΔH в следующем виде:

$$\Delta \rho \rightarrow \Delta \rho_1 e^{\lambda t}, \Delta H \rightarrow \Delta H_1 e^{\lambda t} \quad (7)$$

где t – время. Подстановка (7) в уравнение (6) приводит к линейному алгебраическому уравнению на собственные значения λ :

$$\lambda \Delta \rho_1 = [\Delta \rho_1 H] + [\rho \Delta H_1] \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что если все собственные значения λ неположительны, то малые возмущения плотности не будут нарастать со временем, а, следовательно, бизнес-процесс будет устойчивым. Если, хотя бы одно из собственных значений будет положительными, то, естественно, будет реализовываться худший вариант и система будет демонстрировать неустойчивое поведение. На рис. 3а показан схематический пример устойчивой динамики процесса в выбранной системе координат. Рис.3б демонстрирует потерю устойчивости в силу реакции на возбудители. На обоих рисунках пунктиром отмечены граничные критерии стабильного развития динамического процесса.

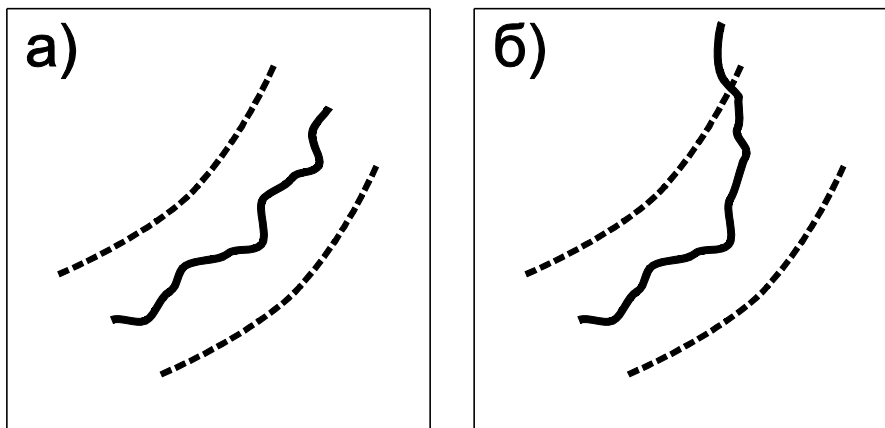


Рис. 3. а) – устойчивая и б) – неустойчивая эволюция бизнес-процессов

Критериями устойчивости называются правила, позволяющие исследовать устойчивость системы без непосредственного нахождения корней характеристического уравнения. Математически все формы

критериев устойчивости эквивалентны, так как они определяют условия, при которых корни характеристического уравнения лежат в левой полуплоскости комплексной плоскости корней.

Одним из таких критериев является критерий Гурвица – это алгебраический критерий, позволяющий в аналитической форме связать условия устойчивости с параметрами системы и выделить области устойчивости.

Еще одним критерием, позволяющим исследовать устойчивость системы без непосредственного нахождения корней характеристического уравнения, является критерий Рауса – это алгебраический критерий, позволяющий судить об устойчивости системы по коэффициентам характеристического уравнения. Особенно удобен он в тех случаях, когда эти коэффициенты заданы численно, а степень характеристического уравнения высока и использование критерия Гурвица затруднительно.

Заключение

Описанная методика и анализ ее устойчивости, позволят определить оптимальные режимы реализации бизнес-процессов, их стабильного функционирования в условиях внутренней и внешней неопределенности информации. Также, пользуясь данной моделью, возможно определить параметры и режимы, при которых реализуется неустойчивость развития процесса и возникновение «катастроф», то есть резкого неконтролируемого изменения состояния системы, а значит, применительно к экономике, это может ассоциироваться с уменьшением выручки или убытками предприятия, снижением стоимости акций и т.д. Поэтому выявление таких режимов и предсказание их возникновения, а главное управление ими является важной задачей описания бизнес-процессов, решить которую позволит данная модель.

Список литературы

1. Панченков А.Н. Энтропия. – Н.Новгород, Издательство общества «Интерсервис», 1999.
2. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами. – М.: Наука, 2003
3. Мартынов А. С., Артюхов В. В. , Виноградов В. Г., Ильин Н. И., Черенков М. В. Россия стратегии инвестирования в кризисный период (инвестиционный климат России). – М.:ПАИМС, 1994
4. Прангишвили И. В. Системный подход и системные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000
5. Jae-Yoon Jung, Chang-Ho Chin, Jorge Cardoso An entropy-based uncertainty measure of process models.- Information Processing Letters

111 (2011) 135–141

6. Parvathi Chundi Rui Zhang, Entropy Based Measure Functions for Analyzing Time Stamped Documents, Proceedings of the Fourth Workshop on Text Mining, Sixth SIAM International Conference on Data Mining, Hyatt Regency Bethesda, Bethesda, Maryland, April 22, 2006
7. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979
8. Блум К. Теория матрицы плотности и ее приложения, — М.: Мир, 1983
9. Климентович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем. – М.: Янус, 2001
10. Громов А.И., Процессное управление в России: основные проблемы и ошибки.- Информационные технологии в проектировании и производстве, №3, 2005, с.8-11
11. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. Л.; М., 1950