

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИЯ «ШАНСЫ — РИСКИ»

**А. Г. МАДЕРА**

*Научно-исследовательский институт системных исследований РАН*

Моделирование бизнес-процессов по созданию нового продукта в настоящее время носит в основном дескриптивный характер. Такой подход не позволяет осуществлять математическое моделирование и количественную оптимизацию процессов, без которых невозможно проектирование бизнес-процессов. В статье рассматриваются математические методы и модели, дающие возможность количественно оптимизировать производственные, обеспечивающие и сервисные бизнес-процессы в условиях неопределенности будущего состояния экономики, финансовых ресурсов компании, шансов и рисков, цен на факторы производства и спроса на новый продукт. Разработанные методы и модели позволяют создавать на их основе программные комплексы для проектирования бизнес-процессов.

*Ключевые слова:* бизнес-процесс, математическая модель, моделирование, оптимизация, неопределенность, комплексный критерий, шансы, риски.

Процессный подход к управлению деятельностью как в отдельных организациях, так и в распределенных системах, состоящих из разнородных организационных единиц, преследующих общую цель, активно развивается в научном и практическом аспектах. В отличие от традиционного менеджмента процессный подход направлен на управление целенаправленным потоком взаимосвязанных видов деятельности (операций, работ, процедур), преобразующих входные потоки материальных, информационных, финансовых ресурсов в выходные — конечный продукт, имеющий ценность для

потребителя (Стандарт ISO 9001:2000). При этом процессный менеджмент охватывает только те организационные единицы, которые включены в бизнес-процесс и непосредственно участвуют как в преобразовании ресурсов («входов») в продукт на выходе, так и в создании добавленной ценности.

Для количественного проектирования бизнес-процессов необходимо проводить их математическое моделирование. Между тем моделирование бизнес-процессов на сегодняшний день является в основном дескриптивным [Vergidis, Tiwari, 2008] и осуществляется в виде вербального, текстового,

табличного, графического и других описаний (нотаций) потоков работ и информационных данных. При таком подходе под моделированием бизнес-процесса понимается регламентация процессов, их документирование и сопровождающий документооборот, а декларируемая в различных руководствах оптимизация бизнес-процессов заключается в выполнении неких мероприятий по их согласованию и частичному улучшению [Харрингтон, Эсселин, Нимвеген, 2002; Робсон, Уллах, 2003]. Выполнение разнообразных организационных мероприятий на самом деле оптимизацией не является, поскольку не может гарантировать того, что проводимые мероприятия будут оптимальными с точки зрения достижения экстремального значения некоторого критерия, а описательное моделирование не может служить основанием для осуществления математической оптимизации. Несмотря на актуальность количественного анализа, моделирования и оптимизации бизнес-процессов, в существующей литературе содержится чрезвычайно мало работ, связанных с этой проблематикой.

Для того чтобы иметь возможность осуществлять оптимизацию бизнес-процесса, необходимо сформулировать его математическую модель, количественно описывающую изучаемый процесс, а также соответствующие критерии оптимизации. Большинство работ по моделированию бизнес-процессов и созданию бизнес-моделей (см., напр.: [Климанов, Третьяк, 2014]) относится к дескриптивному типу. Исследований, посвященных количественному математическому моделированию бизнес-процессов, в том числе в цепях поставок, как отмечается в [Vergidis, Tiwari, 2008; Seuring, 2013], явно недостаточно (в качестве примеров таких работ можно отметить [Петрусевич, 2011; Powell, Schwaninger, Trimble, 2001; Hofacker, Vetschera, 2001; Koubarakis, Plexousakis, 2002; Valiris, Glykas, 2004; Sawicki, Sawicka, 2014]). В некоторых работах для математического моделирования процессов используются сети Петри [Aalst, 1998; Raposo, Magalhaes,

Ricarte, 2000; Ahmadikatouli, Motameni, 2015], в других рассматриваются специализированные *ad hoc* оптимизационные модели математического программирования с бинарными переменными [Hofacker, Vetschera, 2001; Zhang et al., 2014]. Оптимизация процесса осуществляется по одному критерию, в качестве которого может выступать, например, максимально высокий уровень качества (что, в свою очередь, требует количественного определения качества), минимальная величина издержек, минимальное время процесса, либо решается многокритериальная оптимизационная задача с известными методами анализа.

Используемые во многих работах для многокритериальной оптимизации так называемые эволюционные алгоритмы (генетические, рой частиц и пр.) [Hofacker, Vetschera, 2001; Ahmadikatouli, Aboutalebi, 2011; Wibig, 2013], будучи эвристическими, не имеют математического обоснования и не гарантируют сходимости алгоритма к оптимальному решению. В тех работах, которые посвящены математическому моделированию бизнес-процессов, рассматриваются в основном отдельные информационные, стоимостные и/или транспортные потоки (в моделях цепей поставок), в то время как проблема совместного моделирования финансовых, транспортных и материальных потоков факторов производства, производимой продукции на выходах и входах процессных звеньев, а также всего процесса в целом практически не рассматривается.

Оптимизация объемов ресурсов и производимой продукции в бизнес-процессе является первоочередной задачей при проектировании любого бизнес-процесса (производственного, обслуживающего, сервисного, распределительного и др.), особенно по производству нового продукта. Неопределенность будущего спроса на новый продукт (для создания которого и организуется бизнес-процесс), неопределенность будущих цен продажи продукта и закупки необходимых ресурсов для его производства, неопределенность будущего финансового состояния компании и ее финансовой

устойчивости означают, что адекватная оптимизация бизнес-процесса неизбежно проводится в условиях неопределенности будущего. Очевидно, что никакие сколь угодно подробные регламентации, спецификации, нотации бизнес-процессов в какой бы то ни было описательной форме (словесной, текстовой, табличной, графической и пр.) не позволяют решить задачу оптимизации в условиях неопределенности. Для этого необходимо располагать адекватной математической моделью бизнес-процесса и критерием, позволяющим выбирать среди множества возможных решений наилучшее, или оптимальное (подробнее об этом см., напр.: [Мадера, 2009]). Такой критерий должен отражать неопределенность будущего, возможные результаты бизнес-процесса, которые будут актуализированы будущим как с точки зрения финансовых результатов компании, так и с точки зрения самого итогового продукта на выходе всего процесса. В данной статье демонстрируется, что этим требованиям отвечает комплексный критерий максимизации *шансы — риски*, развитый в [Мадера, 2014б; 2014в].

Определим используемое в статье понятие «бизнес-процесс», которое получает многочисленные трактовки в обширной литературе соответствующей проблематики. Руководствуясь стандартом ISO 9000:2000 [Международный стандарт ISO 9000:2000], будем считать, что процесс (синоним бизнес-процесса) представляет собой «совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, которые преобразуют входы в выходы», а также «любую деятельность или совокупность видов деятельности, которые используют ресурсы для преобразования входов в выходы». При этом результаты процесса на выходе непременно должны представлять ценность для потребителя (клиента) и быть востребованы им. Со структурной точки зрения можно сказать, что бизнес-процесс — это совокупность взаимодействующих организационных единиц (звеньев), осуществляющих различные виды деятельности, подчиненные достижению единой общей цели, направленной на про-

изводство конечного выходного продукта, имеющего ценность для потребителя. Иначе говоря, процессный подход ориентирован на управление целенаправленным потоком взаимосвязанных видов деятельности (операций, работ, услуг), преобразующих входные потоки материальных, информационных, финансовых ресурсов в потоки на выходе, а именно в конечный продукт, находящийся спрос у потребителя. Процессный менеджмент охватывает только те организационные единицы, которые включены в бизнес-процесс и непосредственно участвуют как в преобразовании входов в продукты на выходе всего бизнес-процесса и выходах отдельных процессных звеньев, так и в создании добавленной ценности в процессных звеньях и во всем бизнес-процессе. При этом в качестве «владельца бизнес-процесса» выступает лицо (группа лиц), имеющее в своих руках необходимые для осуществления процесса и управления им управляемые факторы и несущее всю полноту ответственности за конечные результаты деятельности бизнес-процесса.

Далее в настоящей статье предлагается математическая оптимизационная модель бизнес-процесса, направленного на создание нового продукта, в условиях неопределенности. Разработанные математические методы и модели могут быть применены для проектирования бизнес-процессов, содержащих разнородные виды деятельности, относящиеся к сферам производства, обслуживания, распределения, оказания услуг, сервиса и иных видов деятельности.

## 1. Математические модели звеньев бизнес-процесса

Рассмотрим структурную модель, отражающую взаимосвязанную последовательность потоков операций (работ, видов деятельности) в бизнес-процессе, направленных на достижение общей глобальной цели всего бизнес-процесса — выпуска конечного продукта. Каждая отдельная операция (вид деятельности) моделируется соответствующим процессным звеном,

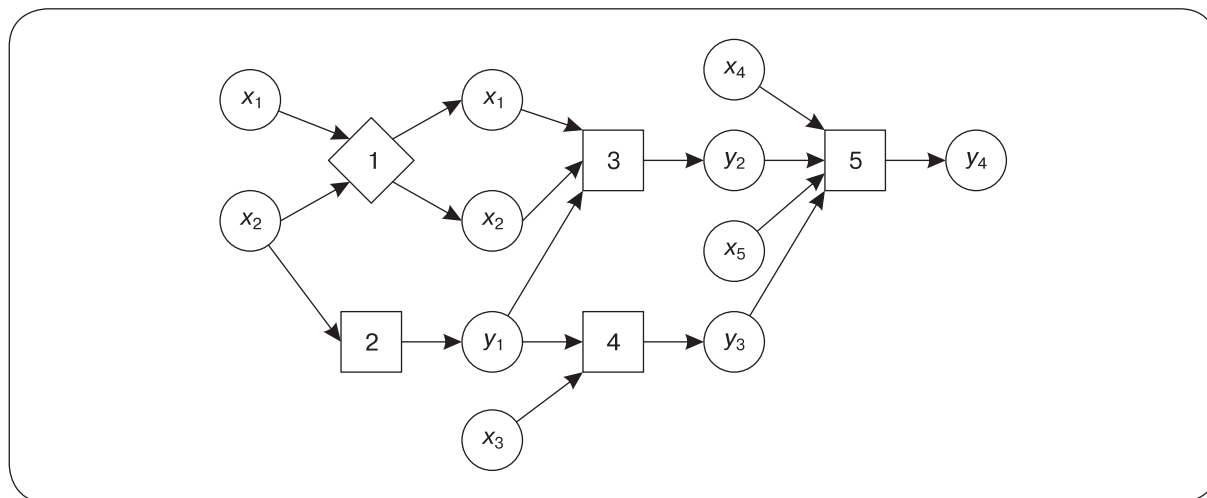


Рис. 1. Структурная модель бизнес-процесса (условный пример)

Примечания: 1 — сервисное звено; 2–5 — производственные звенья.

на вход которого поступают потоки ресурсов, или факторы производства, преобразующиеся в продукт на выходе звена. Входные потоки в каждом звене включают потоки ресурсов, закупаемых во внешней среде ( $X$ ), и потоки ( $Y$ ) продуктов, произведенных в предшествующих данному звену процессных звеньях, являющихся при этом входными ресурсами для осуществления производства в данном звене. Ресурсы, принадлежащие множеству  $X$ , будем называть *экзогенными*, ресурсы, входящие в множество  $Y$ , — *эндогенными*. В общем случае на вход каждого процессного звена подаются эндогенные и экзогенные ресурсы. Отметим, что нумерация экзогенных и эндогенных потоков осуществляется в каждом множестве  $X$  и  $Y$  отдельно и является сквозной по всей структуре бизнес-процесса.

В соответствии с принятой классификацией бизнес-процессов [Портер, 2001] выделяют основные процессы, добавляющие ценность/стоимость к конечному или промежуточному продукту, равные затратам на производство продукта, и обеспечивающие процессы, добавляющие обусловленную затратами стоимость, но не ценность. В производственном звене (основном) происходит преобразование материальных ресур-

сов (факторов производства), поступающих на вход звена, в продукт на его выходе (промежуточный продукт, полуфабрикат, незавершенное производство, окончательный продукт) и одновременно с этим — преобразование стоимости поступающих факторов в новую ценность продукта на выходе звена, обусловленную затратами в звене при его производстве. В обеспечивающем звене продукт не производится, ценность не добавляется и материальные факторы производства не затрачиваются, но при выполнении обеспечивающих работ происходит добавление стоимости в виде затрат на их выполнение, переносимых на конечный продукт производства. Целесообразно выделять также третий вид «цена — сервисное звено», в котором подобно основному звену происходит добавление ценности и стоимости, вызванной издержками при выполнении сервисных работ, но в котором, так же как и в обеспечивающем звене, продукт не производится.

В структурной модели бизнес-процесса (рис. 1) потоки экзогенных и эндогенных ресурсов обозначены кружками; поступление ресурсов и/или продуктов — стрелками; процессные производственные звенья (основные) — прямоугольниками; обеспечивающие, или сервисные, звенья — ром-

бами. Представленная структурная модель бизнес-процесса содержит обеспечивающее звено 1 и четыре производственных звена 2, 3, 4, 5. Из внешней среды поступают (закупаются) экзогенные ресурсы  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ . Потоки продуктов  $y_1, y_2, y_3$ , произведенные в процессных звеньях 2, 3, 4, являются эндогенными, поток  $y_4$  представляет собой произведенный конечный продукт — конечную цель всего бизнес-процесса. Материальные потоки ресурсов  $x_1$  и  $x_2$  на входе и выходе обеспечивающего звена 1 равны между собой, поскольку, как будет показано далее (подраздел 1.2), не претерпевают изменений в процессе осуществляемых над ними работ.

1.1. Математическая модель производственного звена

Математической моделью производственного звена, в котором осуществляется преобразование ресурсов, поступающих на вход в него, в продукт на выходе, может служить так называемая производственная функция (ПФ), аппарат которой в настоящее время развит достаточно подробно (см., напр.: [Клейнер, 1986]).

Рассмотрим процессное производственное звено  $i$ , на вход которого подаются (упорядоченные) множества экзогенных  $X_i$  и эндогенных  $Y_i$  потоков ресурсов, а именно

$$\{x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n}\} \in X_i \subset X$$

и

$$\{y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,k}\} \in Y_i \subset Y.$$

Объем продукта, произведенного в звене  $i$  (рис. 2), обозначим  $y_i$ , при этом  $y_i \notin Y$  и  $y_i \in Y$  (напомним, что нумерация экзогенных и эндогенных ресурсов в множествах  $X$  и  $Y$  осуществляется независимо друг от друга и является сквозной по всему бизнес-процессу (рис. 1)). Математическая модель производственного звена  $i$  представляет собой многофакторную ПФ, которая в натуральном выражении (естественных размерных единицах) имеет вид:

$$y_i = f_i(x_{i,1}, \dots, x_{i,n}; y_{i,1}, \dots, y_{i,k}). \quad (1)$$

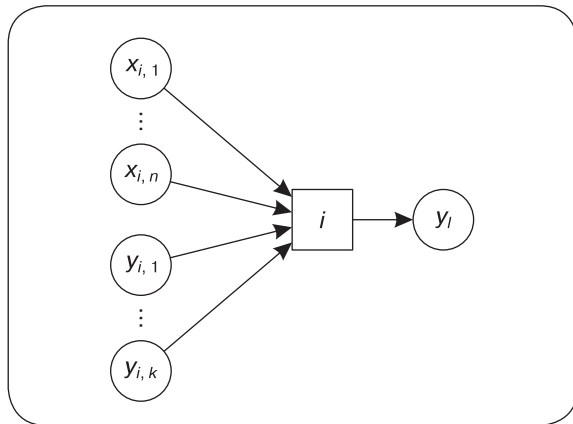


Рис. 2. Структурная модель процессного производственного звена

Конкретный вид ПФ устанавливается для каждого звена и выполняемой им операции (деятельности) с применением регрессионных эконометрических методов на основании имеющихся статистических данных, релевантных как совершаемому процессу производства, так и применяемой технологии в данном звене.

Одновременно с физическим преобразованием факторов производства, поступающих на вход процессного звена, в продукт на его выходе происходит увеличение стоимости входного потока на величину издержек по выполнению работ в звене (далее под издержками понимаются так называемые средние издержки, или издержки на единицу объема потока [Сломан, 2006]). Учитывая, что поступающие на вход звена  $i$  экзогенные и эндогенные ресурсы в объемах  $x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n}$  и  $y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,k}$  имеют стоимости (на единицу объема)  $p_{i,1}, p_{i,2}, \dots, p_{i,n}$  и  $q_{i,1}, q_{i,2}, \dots, q_{i,k}$  соответственно, получим полную стоимость ресурсов, поступающих на вход процессного звена  $i$  (рис. 2):

$$\sum_{j=1}^n p_{i,j} x_{i,j} + \sum_{j=1}^k q_{i,j} y_{i,j}. \quad (2)$$

В каждом звене  $i$  бизнес-процесса стоимость (2) потока на входе преобразуется в стоимость потока на выходе, обусловленную издержками  $\Delta q_i$ , понесенными в процессе



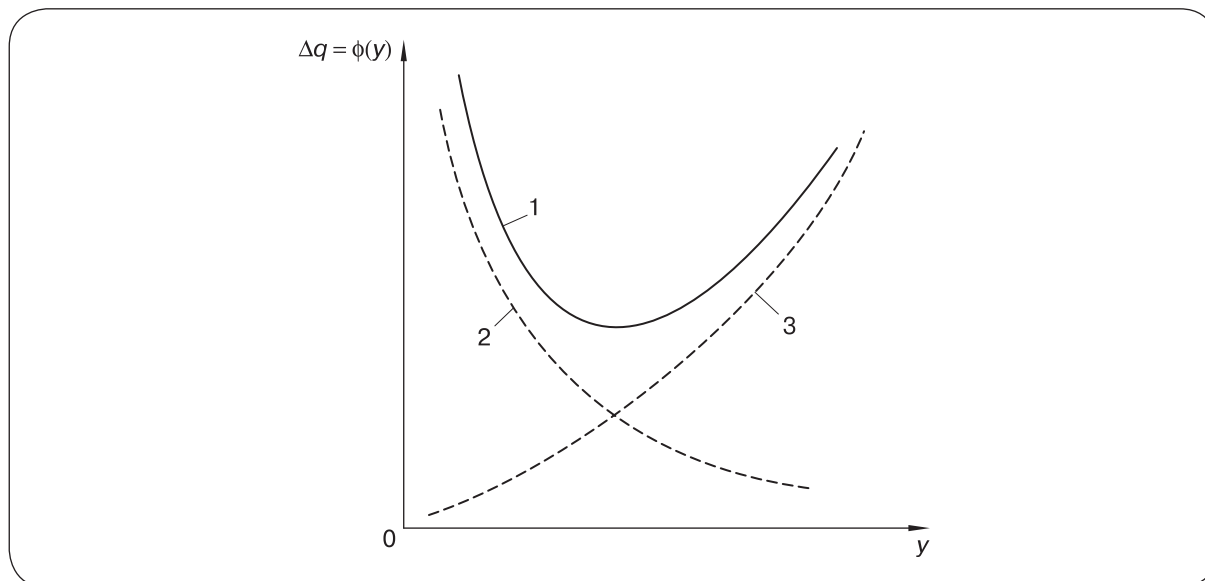


Рис. 3. Зависимость средних издержек  $\Delta q$  от объема продукта  $y$  на выходе звена

производства продукта в  $i$ -м звене. Тогда полная стоимость потока на выходе звена  $i$  может быть записана в виде

$$\sum_{j=1}^n p_{i,j} x_{i,j} + \sum_{j=1}^k q_{i,j} y_{i,j} + \Delta q_i \cdot y_i. \quad (3)$$

В общем случае издержки ( $\Delta q$ ) в производственном звене являются функцией объема ( $y$ ) произведенного в звене продукта  $\Delta q = \phi(y)$  и имеют вид  $U$ -образной кривой с выраженным минимумом (кривая 1, рис. 3), обусловленной двумя слагаемыми издержек: *постоянными издержками*, уменьшающимися с ростом объема произведенного продукта (кривая 2, рис. 3), и *переменными*, увеличивающимися (кривая 3, рис. 3) с ростом объема производства продукта [Сломан, 2006].

### 1.2. Математическая модель обеспечивающего и сервисного звеньев

В бизнес-процессах наряду с производственными звеньями, как правило, присутствуют звенья, отображающие различные виды деятельности, относящиеся к сфере сервисных работ по оказанию услуг и работ по обеспечению производственного процесса.

В то время как в производственных звеньях происходит переработка факторов производства в продукт на выходе, в обеспечивающих и сервисных звеньях совершаются разнообразные виды работ по обеспечению производственного процесса и сервисной обработке готового (полуфабрикатов, незавершенного) продукта. В отличие от производства в обеспечивающей и сервисной деятельности преобразование факторов производства в качественно новую продукцию не производится и, как следствие, специальная закупка факторов производства, предназначенных для переработки в продукцию, отсутствует. Здесь имеют дело с уже произведенной продукцией (конечным продуктом, полуфабрикатами, незавершенным производством, факторами производства). К обеспечивающей деятельности могут быть отнесены транспортировка продукта внутри процесса, хранение, погрузка, разгрузка, оформление сопроводительной документации и пр., к сервисной — упаковка, консолидация продуктов, доставка клиентам и др. Если работы по обеспечению производства ценности к продукту не добавляют, то сервисные работы добавляют ценность, поскольку связаны с предоставле-

нием услуг клиентам, за которые последние готовы платить.

В то время как производственная деятельность ориентирована на прогнозируемый объем спроса на будущую продукцию, обеспечивающие и сервисные виды деятельности — на обеспечение производства (промежуточного и конечного) продукта и оказание услуг в отношении уже произведенного продукта. Если в производственной деятельности производитель принимает решение по закупке факторов производства и их дальнейшей переработке в качественно новый продукт, то в сервисной деятельности организация, занятая предоставлением услуг, находится в состоянии ожидания востребованности своих услуг со стороны производителя продукции. Организация, предоставляющая услуги по сервисной обработке продукции, имеет дело лишь с тем объемом продукции, который будет предоставлен заказчиком ее услуг. Соответственно, занятость сервисной организации будет определяться исключительно тем объемом заказа, который ей удастся заполучить от производителя. Между тем производитель сам формирует свою занятость и принимает самостоятельное решение по выпуску/невыпуску продукции, исходя из собственных прогнозов будущего спроса и предложения намеченной им к выпуску продукции.

В соответствии с вышеизложенным математическая модель обеспечивающего/сервисного звена характеризуется следующими особенностями:

- а) объемы материальных экзогенных и эндогенных потоков на входе и на выходе обеспечивающего/сервисного звена равны между собой и не изменяются на протяжении всего выполнения процессных операций, производимых в звене (за исключением, возможно, таких артефактов, как хищение, порча и пр.) (рис. 4);
- б) при проведении обеспечивающих/сервисных работ над продуктами, поступившими на вход  $i$ -го обеспечивающего/сервисного звена (рис. 4), к стоимостям входных потоков в (2) добавляются из-

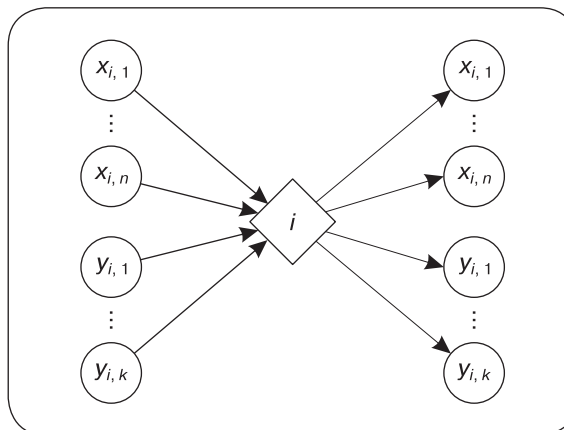


Рис. 4. Структурная модель обеспечивающего/сервисного звена

держки, связанные с проведением соответствующих работ  $\Delta p_{i,j}$  ( $j = 1, \dots, n$ ) для экзогенных факторов и  $\Delta q_{i,j}$  ( $j = 1, \dots, k$ ) — для эндогенных факторов.

Полная стоимость потока на выходе обеспечивающего/сервисного звена  $i$  будет равна

$$\sum_{j=1}^n (p_{i,j} + \Delta p_{i,j}) x_{i,j} + \sum_{j=1}^k (q_{i,j} + \Delta q_{i,j}) y_{i,j}. \quad (4)$$

Издержки  $\Delta p_{i,j}$  и  $\Delta q_{i,j}$  в общем случае являются функциями  $\varphi_i(x_{i,j})$  и  $\varphi_i(y_{i,j})$  объемов материальных потоков  $x_{i,j}$  и  $y_{i,j}$  на выходе обеспечивающего/сервисного звена  $i$ , вид которых аналогичен зависимости, приведенной на рис. 3.

### 1.3. Математические модели звеньев с агрегированными потоками

При математическом моделировании бизнес-процессов множества экзогенных  $\{x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n}\} \in X_i \subset X$  и эндогенных  $\{y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,k}\} \in Y_i \subset Y$  факторов производства, поступающих на вход звена  $i$  (рис. 2, 4), в ряде случаев целесообразно агрегировать в один экзогенный  $x_s \in X$  и один эндогенный  $y_m \in Y$  факторы (относительно номеров факторов  $s$  и  $m$  см. замечание в подразделе 1.1).

Для производственного звена  $i$ , на вход которого поступают два агрегированных

фактора  $x_s$  и  $y_m$ , ПФ (1) будет двухфакторной  $y_l = f_l(x_s, y_m)$ . При этом стоимость входного потока  $p_s x_s + q_m y_m$  (см. (2)) после преобразования в производственном звене  $i$  факторов производства  $x_s$  и  $y_m$  в продукт объемом  $y_l$  увеличится на величину издержек  $\Delta q_i y_l$  и станет равной стоимости произведенного продукта на выходе звена  $i$ , т. е.  $p_s x_s + q_m y_m + \Delta q_i y_l$  (см. (3)).

Как отмечалось, в обеспечивающем и сервисном звеньях агрегированные входные факторы  $x_s$  и  $y_m$  не изменяются и стоимость (4) на выходе сервисного звена возрастает на величину издержек, обусловленных производимой над каждым агрегированным фактором  $x_s$  и  $y_m$  работой, и составит величину  $(p_s + \Delta p_s) x_s + (q_m + \Delta q_m) y_m$ .

## 2. Математическая модель бизнес-процесса

Каждое процессное звено (см. рис. 1) выполняет некоторую операцию (работу), являющуюся частью полного цикла по производству, обеспечению/сервису конечного продукта. Между производственными, обеспечивающими и сервисными процессными звеньями, как отмечалось, имеются принципиальные различия — производственные процессы ориентируются на будущий объем спроса и предложения производимого конечного продукта, в то время как обеспечивающие и сервисные — на выполнение соответствующих работ над уже произведенными продуктами (завершенными или незавершенными), объемы обслуживания которых определяются договором между *владельцами* производственного и сервисного процессов. Обеспечивающие звенья представляют собой дополнительные издержки в общем производственном процессе, поэтому владелец производственного процесса заинтересован в их сокращении, поскольку последние включаются в стоимость конечного продукта, производимого в бизнес-процессе, но ценности к нему не добавляют. Сервисные работы, выполняемые в сервисных звеньях, также требуют дополнительных

затрат, но при этом добавляют ценность, за которую потребитель готов платить. Поэтому подходы к проектированию производственных (включающих обеспечивающие работы) и сервисных бизнес-процессов существенно различаются между собой. В то время как при проектировании производственных процессов главным принципом является удовлетворение прогнозируемого спроса на будущую продукцию, при проектировании сервисных процессов необходимо руководствоваться качеством обслуживания потребителей, причем в тех объемах готовой продукции, которые поступают от заказчика сервисных работ.

Проектирование, моделирование и оптимизация бизнес-процесса осуществляются в условиях неопределенности будущего и носят оптимизационный характер. Это обусловливается тем, что для ответа на такие принципиальные для бизнес-процесса вопросы — в каких оптимальных объемах следует закупать факторы производства (ресурсы) и производить промежуточные и конечные продукты в процессных звеньях — необходимо располагать прогнозом объема будущего *спроса* и будущей *цены* на планируемый к выпуску продукт, которые носят неопределенный характер и априори неизвестны. Это обусловливается неопределенностью актуализации в будущем таких факторов, как состояние экономики и финансов в регионе/стране, в которых осуществляется бизнес-процесс, объемы предложения с учетом конкурентоспособности будущего продукта, состояние организаций, участвующих в бизнес-процессе (организационное, финансовое, управленческое и др.).

При принятии наилучшего решения в реальной действительности субъект исходит из максимизации *шансов*, т. е. будущих удач, прибылей, приращений при одновременной минимизации *рисков*, т. е. возможных в будущем неудач, провалов, возникающих препятствий. Действительно, субъект, принимая решение о начале нового проекта, руководствуется прежде всего



теми новыми возможностями и перспективами, которые ему сулят результаты проекта в будущем, т.е. шансами, и только во вторую очередь принимает во внимание возможные затруднения и препятствия, т.е. риски, с которыми он может столкнуться при реализации проекта (как отмечал Дж. М. Кейнс, «именно наша врожденная жажда деятельности есть та сила, которая движет миром» (см.: [Кейнс, 2012])). Иными словами, шансы — это мотивация к действию, риски — проявление предосторожности при выборе конкретного пути реализации проекта. Поэтому принятие решений исходя лишь из анализа одних только рисков (как это имеет место в существующей литературе) является, по существу, выбором наименьшего зла из множества наибольших, ничего не говоря, однако, о том, насколько вообще целесообразно начинать ту или иную деятельность и какие выгоды она может принести по сравнению с иными вариантами приложения усилий и инвестирования. Ответ на последний вопрос может быть получен только в процессе анализа шансов.<sup>1</sup> Поэтому проведение всестороннего анализа и прогнозирования будущего возможно лишь при одновременном рассмотрении как шансов, так и рисков.

Таким образом, все существенные прогнозные характеристики, на которые ориентируется владелец бизнес-процесса, принимая решение о его инициации, связаны с актуализацией в будущем различного рода событий, носящих как благоприятный характер для бизнес-процесса (*шансы*), так и неблагоприятный (*риски*) для

<sup>1</sup> Как проникательно заметил Дж. М. Кейнс, «...большинство наших решений позитивного характера принимается... под влиянием одной лишь жизнерадостности — этой спонтанно возникающей решимости действовать, а не сидеть сложа руки...» [Кейнс, 2012]. Это же имел в виду и С. Джонсон: «Мы не стали бы организовывать многие предприятия, связанные с большим... риском, если бы нам не было свойственно преувеличивать те выгоды, которые нам эти предприятия сулят» (см.: [Босуэлл, 2003]).

него [Мадера, 2014б; 2014в]. Релевантный критерий для оптимизационного процессного проектирования должен отражать возможную актуализацию в будущем и шансов, и рисков, а также соотношения между ними. Таким релевантным (максимизируемым) критерием является комплексный критерий шансов и рисков (*R&Ch*) [Мадера, 2014б; 2014в]:

$$R\&Ch = \beta_{Ch}Ch - \beta_R R, \quad (5)$$

где *Ch* и *R* — полные прогнозируемые шансы и риски, релевантные рассматриваемому бизнес-процессу;  $\beta_{Ch} \geq 0$  и  $\beta_R \geq 0$  — коэффициенты относительной важности шансов и рисков с точки зрения владельца бизнес-процесса. При этом под полными шансами и рисками понимаются шансы и риски, учитывающие все возможные события, составляющие множества шансов и рисков [Мадера, 2014б].

Величины полных шансов *Ch* и рисков *R* в любой деятельности, в том числе и процессной, определяются как сумма произведений материальных мер шансов (доходы, прибыли, выручка)  $M_{Ch,k}$  ( $k = 1, 2, \dots, L$ ) и рисков (потери, убытки)  $M_{R,k}$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) на меры их возможной актуализации  $P_{Ch,k}$  и  $P_{R,k}$  (вероятностные меры). В будущем может актуализироваться лишь одно событие из множества возможных *L* шансов и *K* рисков, поэтому они образуют полную группу событий. Полные шансы *Ch* и риски *R* вычисляются согласно следующим выражениям (см.: [Мадера, 2014б; 2014в]):

$$\begin{aligned} Ch &= \sum_{k=1}^L M_{Ch,k} P_{Ch,k}, \\ R &= \sum_{k=1}^K M_{R,k} P_{R,k}. \end{aligned} \quad (6)$$

Отметим, что при построении математической модели бизнес-процессов следует принимать во внимание принципы теории систем [Гиг, 1981]:

- для систем, состоящих из множества, содержащего более одного элемента, оптимизация каждого элемента в отдельности

не позволяет получить оптимальное решение для всей системы в целом;

- оптимизация всей системы в целом приводит к неоптимальным (субоптимальным) решениям для каждого из ее элементов.

Бизнес-процесс (производственный) создается для достижения глобальной цели, заключающейся в выпуске конечного продукта, поэтому оптимизация бизнес-процесса должна проводиться для всей структурной модели процесса (рис. 1) в целом как системы. Кроме того, объем выпуска и продажная цена намеченного к производству продукта, равно как и объемы закупаемых факторов производства, являются управляемыми факторами со стороны владельца бизнес-процесса и, следовательно, переменными оптимизационной математической модели.

Оптимизационная математическая модель производственного бизнес-процесса направлена на нахождение неотрицательных объемов факторов производства  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , закупаемых во внешней среде по ценам  $c_1, c_2, \dots, c_m$ , которые обеспечивают производство во всем бизнес-процессе и которые:

- максимизируют значение *комплексного критерия «шансы — риски»* ( $R\&Ch$ ) (5)–(6)

$$R\&Ch = \beta_{Ch} \sum_{k=1}^L M_{Ch,k} P_{Ch,k} - \beta_R \sum_{k=1}^K M_{R,k} P_{R,k} \rightarrow \max; \quad (7)$$

- удовлетворяют вероятностному бюджетному ограничению, а именно: вероятность того, что будущие общие затраты на закупку факторов производства не превысят финансовых средств  $I$ , выделяемых на весь бизнес-процесс, будет не меньше величины  $p$ :

$$P\{c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_mx_m \leq I\} \geq p; \quad (8)$$

- соответствуют условию неотрицательности переменных

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m.$$

Вероятностное бюджетное ограничение (8) обусловлено тем, что будущие цены на факторы производства  $c_1, c_2, \dots, c_m$  и будущее состояние финансовых ресурсов  $I$  являются неопределенными и могут претерпеть существенные изменения в ту или иную сторону в ходе реализации проекта. Поэтому бюджетное ограничение  $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_mx_m \leq I$  может пониматься только в вероятностном смысле. Следует, однако, понимать, что вероятность выполнения условия  $P\{\cdot\} \geq p$  представляет собой *субъективную вероятность*, отражающую степень убежденности владельца (эксперта) бизнес-процесса в своем прогнозе, поскольку любой экономический и социальный фактор, будущая актуализация которого подвергается прогнозированию, не является объективно-вероятностным объектом в его классическом понимании [Keynes, 1921; Мадера, 2014а; 2014б]. Конкретные значения параметров модели (7)–(8) задаются для каждого конкретного производственного бизнес-процесса с учетом всего контекста условий, в которых будет протекать организуемый бизнес-процесс.

Методика оптимизации бизнес-процесса в условиях неопределенности основывается на предварительном прогнозе неопределенных факторов, которые могут актуализироваться в будущем: состояние экономики, спрос на конечный продукт, объем возможного предложения, цены продажи произведенного продукта, цены на используемые факторы производства, состояние организационных единиц, участвующих в бизнес-процессе (финансовое, организационное, управленческое и др.).

### 3. Алгоритм математического моделирования и оптимизации бизнес-процесса

Математическое моделирование и оптимизация бизнес-процесса по производству и обеспечению намеченного к выпуску нового продукта включают в себя следующие этапы.

*Этап 1. Оптимизация объема выпуска конечного продукта и объемов факторов производства для рыночной конъюнктуры, сложившейся на сегодняшний день.*

За исходные данные принимаются существующие на рассматриваемый момент времени характеристики состояния экономики и финансов, сложившаяся рыночная конъюнктура с ценами  $c_1, c_2, \dots, c_m$  на факторы производства  $x_1, x_2, \dots, x_m$  ( $x_i \geq 0, i = 1, \dots, m$ ) и ценой продажи  $c_N$  конечного продукта, получаемого на выходе конечного  $N$ -го процессного звена, известной величиной финансовых ресурсов  $I$ , ассигнованных на бизнес-процесс. В предположении, что структура бизнес-процесса и состав входящих в него организационных единиц выбраны, решается следующая оптимизационная задача: определить оптимальный объем производства конечного продукта  $y_N$  на выходе конечного  $N$ -го звена и оптимальные объемы факторов производства  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , максимизирующих прибыль всего бизнес-процесса.

Соответствующая математическая модель имеет вид

$$c_N \cdot y_N(x_1, x_2, \dots, x_m) - (c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_m x_m) \rightarrow \max \quad (9)$$

при бюджетном ограничении на объем финансовых ресурсов

$$c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_m x_m \leq I \quad (10)$$

и условия неотрицательности переменных

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, m.$$

Для осуществления оптимизации объем производства конечного продукта  $y_N$  должен быть предварительно выражен через ПФ всех предшествующих звеньев бизнес-процесса и содержать в конечном виде зависимости от объемов факторов производства  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Это достигается путем композиции (вложения одна в другую) ПФ предшествующих звеньев в ПФ конечного звена  $y_N(x_1, x_2, \dots, x_m)$  в последовательности, которая начинается с ПФ послед-

него звена процесса и заканчивается ПФ первого звена.

Полученные после решения модели (9)–(10) оптимизированные значения спроса  $y_N$  и объемов факторов производства  $x_1, x_2, \dots, x_m$  служат исходными данными для последующих шагов.

*Этап 2. Прогноз будущих состояний экономики, финансов, шансов и рисков и их оценка.*

Владелец (аналитик) бизнес-процесса осуществляет прогнозирование будущего состояния экономики и финансового состояния, релевантных проектируемому бизнес-процессу. Если прогноз благоприятствует инициации выпуска нового продукта, то принимается решение о создании производственного бизнес-процесса.

Следующим действием является прогнозирование возможных шансов и рисков, которые могут актуализироваться в будущем при совершении деятельности в бизнес-процессе. К шансам могут быть отнесены:

- получение прибыли, по крайней мере не меньшей того значения, которое может быть получено на сегодняшний день, и являющейся решением модели (9)–(10);
- снижение цен на факторы производства;
- укрепление валюты, в которой хранятся денежные средства;
- повышенный спрос на новый продукт;
- низкий уровень конкуренции со стороны продуктов-аналогов.

К рискам относятся:

- недостаточная или даже нулевая прибыль, не покрывающая затрат (прямые убытки);
- повышение цен на факторы производства;
- ослабление валюты, в которой осуществляются инвестиции;
- низкий спрос на новый продукт;
- выпуск конкурентами аналогов, превосходящих по своим характеристикам данный продукт;
- снижение уровня платежеспособного спроса населения;

- неблагоприятно складывающаяся конъюнктура рынка.

Бизнес-процесс, как указывалось выше, целесообразно инициировать только при благоприятном прогнозе будущих состояний экономики и финансов, который и принимается за основу. В качестве шансов и рисков, релевантных проектируемому бизнес-процессу и выступающих в качестве возможной реализации перечисленных выше событий, будем рассматривать актуализацию двух обобщенных событий: увеличение будущей прибыли по сравнению с прибылью в настоящий момент времени, найденной на *этапе 1* (шанс), и снижение прибыли до неприемлемого уровня, вплоть до прямых убытков (риск). При этом, как уже отмечалось выше, шансовые и рисковые события образуют полную группу.

Оценим обобщенный шанс ( $Ch$ ) и риск ( $R$ ), релевантные рассматриваемому бизнес-процессу.

Прибыль ( $M$ ), найденная на *этапе 1* из решения оптимизационной модели (9)–(10) для конъюнктуры рынка, сложившейся на настоящий момент времени, равна

$$M = c_N \cdot y_N(x_1, x_2, \dots, x_m) - (c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_mx_m) \quad (11)$$

и соответствует максимальному доходу от продажи нового продукта при минимальных издержках на закупку факторов производства по существующим на данный момент ценам. В будущем, после инициации бизнес-процесса и получения конечного продукта, когда начнется его реализация на рынке, инвестор ожидает, что прибыль превысит настоящее ее значение  $M \geq 1$  и вероятность  $P_{Ch}$  (шанс). Однако возможен и неблагоприятный поворот событий, при котором прибыль в сравнении со значением  $M$  (11) уменьшится с прогнозируемым множителем  $\beta_R \leq 1$  и вероятностью  $P_R$  (риск). Тогда оценки обобщенных величин шанса и риска согласно (6) будут равны

$$Ch = \beta_{Ch} \cdot M \cdot P_{Ch} \quad \text{и} \quad R = \beta_R \cdot M \cdot P_R. \quad (12)$$

### Этап 3. Оптимизационная математическая модель бизнес-процесса при прогнозируемых условиях.

Оптимизационная математическая модель бизнес-процесса строится на основе общей модели (7)–(8) и описывает оптимальные объемы конечного продукта и затрат факторов производства при одновременном взвешивании (с коэффициентами  $\beta_{Ch} \geq 1$  и  $\beta_R \leq 1$ ) благоприятного прогноза развития событий с вероятностью  $P_{Ch}$  (шанс) и неблагоприятного прогноза с вероятностью  $P_R$  (риск) относительно конъюнктуры рынка в настоящий момент времени.

Таким образом, оптимизационная математическая модель бизнес-процесса с учетом соотношений (11) и (12) имеет вид

$$R \& Ch = \beta_{Ch} \cdot M \cdot P_{Ch} - \beta_R \cdot M \cdot P_R \rightarrow \max, \quad (13)$$

$$P\{c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_mx_m \leq I\} \geq p, \quad (14)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m,$$

где  $M = c_N \cdot y_N(x_1, x_2, \dots, x_m) - (c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_mx_m)$  — материальная мера максимальной прибыли, полученная из решения оптимизационной модели (9)–(10) с продажной и закупочной ценами на конечный продукт и факторы производства, сложившиеся на настоящий момент времени.

В вероятностном бюджетном ограничении (14) цены на факторы производства соответствуют таковым в настоящий момент времени, а будущая неопределенность бюджета выражается в вероятности события  $P\{c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_mx_m \leq I\} \geq p$  того, что финансовые ресурсы, вкладываемые в бизнес-процесс в объеме  $I$ , сохраняют свою устойчивость при возможной неблагоприятно складывающейся конъюнктуре рынка (повышение цен на факторы производства, ослабление валюты денежных средств, финансовые и экономические спады).

Результатом решения математической модели (13)–(14) будут оптимальные объемы выпуска конечного продукта  $y_N$  и затрат факторов производства  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , найденные при одновременном учете как



шансов, так и рисков, релевантных рассматриваемому бизнес-процессу. По найденным данным находятся также оптимальные продукты на выходе каждого промежуточного процессного звена в отдельности. Указанные величины для всех процессных звеньев определяются в результате пересчета ПФ (1) для каждого звена, начиная с 1-го звена и заканчивая предпоследним ( $N - 1$ )-м звеном.

Если полученные результаты при проведенных прогнозах будущих шансов и рисков будут устраивать лицо, принимающее решение (ЛПР), то инициация бизнес-процесса по производству нового продукта является оправданной, в противном случае она нецелесообразна.

*Этап 4. Определение средних стоимостей и издержек в каждом процессном звене.*

Объемы промежуточных продуктов  $y_1, y_2, \dots, y_{N-1}$  на выходах звеньев бизнес-процесса и объем конечного продукта  $y_N$  служат далее для определения средних стоимостей (2)–(4) и издержек  $\Delta p_i = \varphi_i(y_i)$  и  $\Delta q_i = \varphi_i(y_i)$  продуктов на выходах звеньев, в соответствии с известными для каждого вида деятельности функциями  $\varphi_i(y_i)$  (рис. 3). Для обеспечивающих звеньев, включенных в общий бизнес-процесс, используется условие (условие а), подраздел 1.2), согласно которому в обеспечивающем звене ( $i$ ) изменения объема материального потока не происходит. Найденные значения объемов продуктов на входах и выходах всех процессных звеньев, а также издержки в звеньях при выполнении соответствующих работ представляют собой, по существу, объемы «заданий» и их стоимостей, выполняемых в каждой организационной единице, входящей в бизнес-процесс. Оптимальные значения факторов производства на входах, оптимальный объем конечного продукта на выходе процесса и отвечающие этому объему продуктов на выходах процессных звеньев позволяют разработать оптимальные решения и планы по производству, обеспечению и сервису нового продукта в усло-

виях неопределенности развития событий в экономике и финансах, релевантных рассматриваемому бизнес-процессу.

#### 4. Пример моделирования и оптимизации бизнес-процесса

Рассмотрим пример бизнес-процесса по производству некоего нового продукта. Согласно структурной модели бизнес-процесса (рис. 5) закупаемые в объемах  $x_1, x_2$  факторы производства (экзогенные) поступают на транспортное звено 1 и доставляются к производственному звену 2, где перерабатываются в промежуточный (эндогенный) продукт в объеме  $y_1$ , который вместе с фактором производства  $x_3$  (экзогенным) поступает далее на следующее производственное звено 3, с выхода которого произведенный конечный продукт в объеме  $y_2$  поступает на склад (звено 4). Издержки, понесенные в ходе выполнения обеспечивающих работ по транспортировке (звено 1) факторов производства и хранению (звено 4) готового конечного продукта, составляют  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_4$ , а издержки при производстве продукта в производственных звеньях 2 и 3 составляют  $\Delta q_2$  и  $\Delta q_3$ . Материальные потоки на входе и выходе сервисных звеньев 1 и 4 не изменяются, объем  $y_2$  произведенного продукта определяется его прогнозируемым спросом.

Моделирование и оптимизация бизнес-процесса (рис. 5) осуществляются согласно этапам алгоритма, рассмотренным в разделе 3.

*Этап 1. Оптимизация объема выпуска конечного продукта и объемов факторов производства для рыночной конъюнктуры, сложившейся на сегодняшний день.*

Примем, что при существующей в настоящий момент времени конъюнктуре рынка цены на факторы производства 1, 2 и 3 составляют  $c_1 = 0,6$  усл. ден. ед. и  $c_2 = 0,2$  усл. ден. ед.,  $c_3 = 0,3$  усл. ден. ед., продажная цена конечного продукта (аналога)  $c_4 = 1,8$  усл. ден. ед. Финансовые ресурсы, вкладываемые в бизнес-процесс, составляют  $I = 200$  усл. ден. ед.



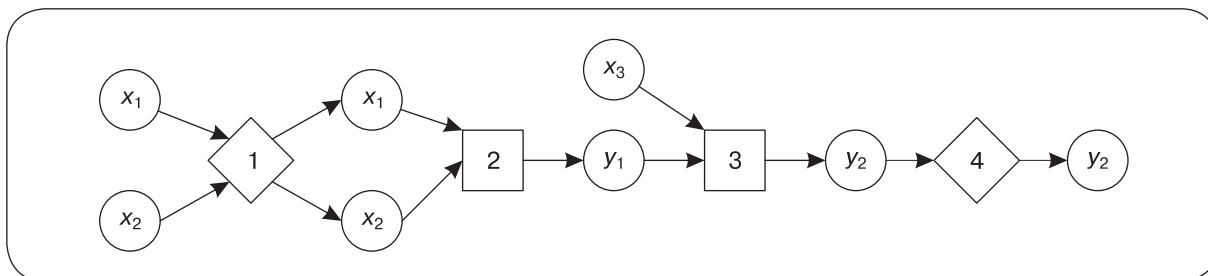


Рис. 5. Структурная модель бизнес-процесса, содержащего два производственных звена (2) и (3) и два обеспечивающих звена — транспортное (1) и склад (4)

ПФ производственных звеньев 2 и 3 являются мультипликативными и имеют вид:

$$y_1(x_1, x_2) = A_1 \cdot x_1^\alpha \cdot x_2^\beta,$$

$$y_2(y_1, x_3) = A_2 \cdot y_1^\gamma \cdot x_3^\delta,$$

где  $A_1 = 2,6$ ;  $\alpha = 0,6$ ;  $\beta = 0,3$ ;  $A_2 = 3,2$ ;  $\gamma = 0,4$ ;  $\delta = 0,5$ .

Необходимо определить оптимальное значение объема производства конечного продукта  $y_2$  на выходе конечного процессного звена 3, оптимальные объемы факторов производства  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , при которых прибыль бизнес-процесса

$$M = c_4 \cdot y_2(y_1, x_3) - (c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3)$$

при существующей в настоящее время конъюнктуре будет максимальной. Указанные величины определяются следующей оптимизационной математической моделью (9)–(10):

$$1,8y_2(y_1, y_3) - (0,6x_1 + 0,2x_2 + 0,3x_3) \rightarrow \max,$$

$$0,6x_1 + 0,2x_2 + 0,3x_3 \leq 200,$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, 3.$$

ПФ конечного производственного звена 3  $y_2(y_1, x_3)$  необходимо предварительно выразить через ПФ всех предыдущих производственных звеньев, с тем чтобы она содержала только экзогенные факторы производства  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ . После несложных преобразований получим  $y_2(y_1, x_3) = A_2 \cdot A_1^\gamma \cdot x_1^{\alpha\gamma} \cdot x_2^{\beta\gamma} \cdot x_3^\delta$ .

Подставляя численные данные и решая приведенную оптимизационную модель, получаем следующие оптимальные значения: объем производства конечного продукта  $y_2 = 495,6$  усл. ед., доход от реализации конечного продукта  $c_4 y_2 = 892,1$  усл. ден. ед., прибыль  $M = 692,1$  усл. ден. ед., оптимальные объемы факторов производства  $x_1 = 93$  усл. ед.,  $x_2 = 139,5$  усл. ед.,  $x_3 = 387,6$  усл. ед.

*Этап 2. Прогноз будущих состояний экономики, финансов, шансов и рисков и их оценка.*

Данные, полученные на *этапе 1*, свидетельствуют о целесообразности создания бизнес-процесса. Прогнозируемым шансом бизнес-процесса является превышение будущей прибыли сверх значения в настоящее время ( $M = 692,1$  усл. ден. ед.) в  $\beta_{Ch} = 1,2$  раза с вероятностью  $P_{Ch} = 0,65$ ; прогнозируемым риском — снижение будущей прибыли относительно значения в настоящее время ( $M = 692,1$  усл. ден. ед.) в  $\beta_R = 0,45$  раза с вероятностью  $P_R = 0,35$ .

Оценки обобщенных значений шанса ( $Ch$ ) и риска ( $R$ ), релевантных рассматриваемому бизнес-процессу (12), составляют

$$Ch = \beta_{Ch} \cdot M \cdot P_{Ch} = 0,78M;$$

$$R = \beta_R \cdot M \cdot P_R = 0,1575M.$$

*Этап 3. Оптимизационная математическая модель бизнес-процесса при прогнозируемых условиях.*

Оптимизационная математическая модель бизнес-процесса (рис. 5) согласно (13)–(14) имеет вид:

$$R\&Ch = 0,78M - 0,1575M \rightarrow \max,$$

$$P\{0,6x_1 + 0,2x_2 + 0,3x_3 \leq I\} \geq p,$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 2, 3.$$

Возможный размер денежных средств  $I$  в течение периода производства новой продукции и выпуска ее на рынок может претерпеть значительные изменения, которые непредсказуемы и чреватые нежелательными последствиями. Примем, что финансовые ресурсы  $I$ , вкладываемые в бизнес-процесс, сохраняют свое устойчивое состояние даже при неблагоприятной конъюнктуре рынка с вероятностью  $p = 0,75$  при возможных будущих значениях в интервале  $[I_{\min}, I_{\max}]$ , где  $I_{\min} = 150$ ;  $I_{\max} = 230$ . Поскольку нет никаких оснований полагать, что те или иные значения денежных средств  $I \in [I_{\min}, I_{\max}]$  имеют превалирующие вероятности актуализации, примем, что распределение вероятностей их из интервала  $[I_{\min}, I_{\max}]$  является равномерным [Мадера, 2014а; Madera, 2015]. Поэтому вероятностное бюджетное ограничение  $P\{c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 \leq I\} \geq p$  может быть приведено к виду  $c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 \leq I_{\max} - p(I_{\max} - I_{\min})$ .

Оптимизационная математическая модель для определения оптимальных будущих объемов факторов производства  $x_1, x_2, x_3$  и оптимального объема производства конечного продукта  $c_4y_2$  примет следующий вид:

$$0,78M - 0,1575M \rightarrow \max,$$

$$0,6x_1 + 0,2x_2 + 0,3x_3 \leq 170,$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 2, 3.$$

Решая данную оптимизационную модель, получаем следующие оптимальные значения: объем производства конечного продукта  $y_2 = 430,98$  усл. ед., доход от реализации конечного продукта  $c_4y_2 = 775,76$  усл. ден. ед., прибыль  $M = 605,76$  усл. ден. ед., оптимальные объемы факторов производства  $x_1 = 79,07$  усл. ед.,  $x_2 = 118,60$  усл. ед.,  $x_3 = 329,46$  усл. ед. На основании полученных данных определяется оптимальный объем промежуточного (эндо-

генного) продукта:  $y_1(x_1, x_2) = A_1 \cdot x_1^\alpha \cdot x_2^\beta = 2,6 \cdot x_1^{0,6} \cdot x_2^{0,3} = 149,97$  усл. ед.

Результаты оптимизации будущей прибыли и дохода бизнес-процесса для условий, полученных прогнозированием, устраивают ЛПП (владельца бизнес-процесса), поэтому он принимает решение инициировать бизнес-процесс по производству нового продукта.

*Этап 4. Определение средних стоимостей и издержек в каждом процессном звене.*

Примем, что средние издержки на единицу объема (постоянные в рассматриваемом случае), создаваемые в обеспечивающем звене 1 (транспортировка) для ресурсов 1 и 2, составляют  $\Delta p_1 = \Delta p_2 = 0,15$ , в производственных звеньях 2 и 3  $\Delta q_2 = 0,35$  и  $\Delta q_3 = 0,5$ , в обеспечивающем звене 4 (склад)  $\Delta p_3 = 0,06$ . Находим:

- полная стоимость закупленных экзогенных факторов производства  $x_1, x_2, x_3$

$$C = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 = 0,6 \cdot 79,07 + 0,2 \cdot 118,60 + 0,3 \times 329,46 = 170 \text{ усл. ден. ед.};$$

- стоимость факторов производства  $x_1, x_2$  на входе в обеспечивающее звено 1

$$C_0 = c_1x_1 + c_2x_2 = 0,6 \cdot 79,07 + 0,2 \cdot 118,60 = 71,162 \text{ усл. ден. ед.};$$

- стоимость факторов производства  $x_1, x_2$  на выходе обеспечивающего (транспортного) звена 1 после проведения в нем соответствующих работ

$$C_1 = (c_1 + \Delta p_1)x_1 + (c_2 + \Delta p_2)x_2 = (0,6 + 0,15) \cdot 79,07 + (0,2 + 0,15) \times 118,60 = 100,81 \text{ усл. ден. ед.};$$

- стоимость промежуточного (эндогенного) продукта на выходе производственного звена 2 в результате производства

$$C_2 = C_1 + \Delta q_2 \cdot y_1 = 100,81 + 0,35 \cdot 149,97 = 153,3 \text{ усл. ден. ед.};$$

- стоимость конечного продукта на выходе производственного звена 3 в результате

переработки факторов производства  $x_3$  (экзогенного) и  $y_1$  (эндогенного) на входе в производственное звено 3

$$\begin{aligned} C_3 &= C_2 + c_3 x_3 + \Delta q_3 \cdot y_2 = \\ &= 153,3 + 0,3 \cdot 329,46 + 0,5 \cdot 430,98 = \\ &= 467,63 \text{ усл. ден. ед.;} \end{aligned}$$

- стоимость конечного продукта на выходе обеспечивающего звена 4 в процессе его хранения на складе

$$\begin{aligned} C_4 &= C_3 + \Delta p_3 \cdot y_2 = \\ &= 467,63 + 0,06 \cdot 430,98 = \\ &= 493,49 \text{ усл. ден. ед.} \end{aligned}$$

Найденные значения оптимальных объемов произведенных продуктов на выходах процессных звеньев, их стоимостей и издержек во всех звеньях являются основой для составления проекта всего бизнес-процесса и рабочего плана работ в каждой организационной единице, входящей в бизнес-процесс.

## Заключение

Количественное проектирование бизнес-процессов, понимаемое как численный оптимизационный синтез структуры, факторов и параметров бизнес-процесса, при всей своей актуальности до сих пор не получило должного развития. Это подтверждается как явно недостаточным количеством литературы по математическим методам оптимизации и проектирования бизнес-процессов, так и отсутствием конкретных примеров реальных компаний, на практике осуществляющих численное проектирование своих бизнес-процессов. Указанные обстоятельства обуславливаются рядом причин и в первую очередь недостаточным развитием математического моделирования и оптимизации бизнес-процессов в различных сферах производства, обеспечения

и сервиса, без которых невозможно создание инструментальных и программных средств для количественного проектирования бизнес-процессов. Приводимые в литературе подходы к моделированию и оптимизации бизнес-процессов носят дескриптивный характер, а декларируемые методы оптимизации бизнес-процессов на самом деле таковыми не являются.

В данной работе предлагаются концепция и методы математического моделирования и оптимизации бизнес-процессов в условиях неопределенности будущего и изменчивости состояний экономики и финансов, существенных для проектирования бизнес-процессов, таких как будущий спрос и продажная цена на конечный продукт, объем финансовых ресурсов, цены на факторы производства, возможные шансы (благоприятные будущие события) и риски (неблагоприятные будущие события), конъюнктура рынка и др. Структурная модель бизнес-процесса, введенная в работе, включает в себя как производственные и обеспечивающие, так и сервисные звенья. Разработанная оптимизационная математическая модель бизнес-процесса использует в качестве критерия оптимизации комплексный критерий «шансы — риски», одновременно максимизирующий шансы и минимизирующий риски процесса и его владельца и который в наиболее адекватной степени отражает будущую неопределенность при принятии решений. Предлагаемые модели и методы позволяют осуществлять математическое моделирование и оптимизацию бизнес-процесса без ограничений его сложности в условиях будущей неопределенности экономики и финансов, а также создавать на их основе программные комплексы для численного (не описательного) проектирования бизнес-процессов.

## ЛИТЕРАТУРА НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Босуэлл Дж. 2003. *Жизнь Сэмюэля Джонсона*. Пер. с англ. М.: Текст.

Гиг Дж., ван. 1981. *Прикладная общая теория систем*. Т.2. Пер. с англ. М.: Мир.

- Кейнс Дж. М. 2012. *Общая теория занятости, процента и денег*. Пер. с англ. М.: Гелиос АРВ.
- Клейнер Г. Б. 1986. *Производственные функции: Теория, методы, применение*. М.: Финансы и статистика.
- Климанов Д. Е., Третьяк О. А. 2014. Бизнес-модели: основные направления исследований и поиски содержательного фундамента концепций. *Российский журнал менеджмента* 12 (3): 107–130.
- Мадера А. Г. 2009. *Моделирование и принятие решений в менеджменте*. М.: ЛКИ / URSS.
- Мадера А. Г. 2014а. Интервально стохастическая неопределенность оценок в многокритериальных задачах принятия решений. *Искусственный интеллект и принятие решений* (3): 105–115.
- Мадера А. Г. 2014б. *Риски и шансы: неопределенность, прогнозирование и оценка*. М.: КРАСАНД / URSS.
- Мадера А. Г. 2014в. Риски и шансы: принятие решений в условиях неопределенного будущего. *Менеджмент в России и за рубежом* (2): 12–22.
- Международный стандарт ISO 9000:2000. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь Системы менеджмента качества*.
- Петрусевиц А. В. 2011. Оптимальное управление объемами выпуска в условиях неопределенности спроса. *Российский журнал менеджмента* 9 (4): 35–50.
- Портер М. 2001. *Конкуренция*. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс».
- Робсон М., Уллах Ф. 2003. *Реинжиниринг бизнес-процессов*. Пер. с англ. М.: Юнити.
- Сломан Дж. 2006. *Основы экономики*. Пер. с англ. М.: Проспект.
- Харрингтон Д., Эсселин К. С., Нимвеген Х., ван. 2002. *Оптимизация бизнес-процессов. Документирование, анализ, управление, оптимизация*. Пер. с англ. СПб.: Азбука.

## REFERENCES IN LATIN ALPHABETH

- Aalst W. M. P. van der. 1998. The application of Petri-nets to workflow management. *Journal of Circuits, Systems and Computers* 8 (1): 21–66.
- Ahmadikatouli A., Aboutalebi M. 2011. New evolutionary approach to business process model optimization. *Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists*. IMESC, March 16–18, Hong Kong.
- Ahmadikatouli A., Motameni H. 2015. Enrichment of object oriented Petri net and object Z aiming at business process optimization. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 6 (7): 13–19.
- Hofacker I., Vetschera R. 2001. Algorithmical approaches to business process design. *Computer & Operations Research* 28: 1253–1275.
- Keynes J. M. 1921. *Treatise on Probability*. MacMillan & Co: London.
- Koubarakis M., Plexousakis D. 2002. A formal framework for business process modeling and design. *Information Systems* 27 (5): 299–319.
- Madera A. 2015. Interval uncertainty of estimates and judgments of subject in decision making in multi-criteria problems. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process* 7 (2): 337–348.
- Powell S. G., Schwaninger M., Trimble C. 2001. Measurement and control of business processes. *System Dynamics Review* 17 (1): 63–91.
- Raposo A. B., Magalhaes L. P., Ricarte I. L. M. 2000. Petri nets based coordination mechanisms for multi-flow environments. *International Journal of Computer Systems Science and Engineering* 15 (5): 315–326.
- Sawicki P., Sawicka H. 2014. Logistics process improvement using simulation and stochastic multiple criteria decision aiding. *Procedia — Social and Behavioral Sciences* 111: 213–223.
- Seuring S. 2013. A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. *Decision Support Systems* 54 (4): 1513–1520.

- Valiris G., Glykas M. 2004. Business analysis metrics for business process redesign. *Business Process Management Journal* 10 (4): 445–480.
- Vergidis K., Tiwari A. 2008. Business process analysis and optimization: Beyond reengineering. *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics — Part C: Application and Reviews*: 1–14.
- Wibig M. 2013. Dynamic programming and genetic algorithm for business processes optimization. *International Journal of Intelligent Systems and Applications* 5 (1): 44–51.
- Zhang Oi, Shah N., Wassick J., Helling R., Egerschot P. van. 2014. Sustainable supply chain optimisation: An industrial case study. *Computers & Industrial Engineering* 74: 68–83.
- Translation of references in Russian into English**
- Boswell J. 2003. *Life of Samuel Johnson*. Transl. from English. M.: Text.
- Gigch J. 1981. *Applied General Systems Theory*. V. 2. Transl. from English. M.: Mir.
- Keynes G.M. 2012. *The General Theory of Employment, Interest and Money*. Transl. from English. M.: Gelios ARV.
- Kleiner G.B. 1986. *Production Functions: Theory, Methods, Applications*. M.: Financy i Statistika.
- Klimanov D. E., Tretiak O. A. 2014. Business models: Major research directions and search of conceptual foundations. *Rossiiskij zhurnal menedzhmenta* 12 (3): 107–130.
- Madera A.G. 2009. *Modelling and Decision-Making in Management*. M.: LCI / URSS.
- Madera A.G. 2014a. Interval stochastic uncertainty estimates mnogokriterial decision-making problems. *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij* (3): 105–115.
- Madera A.G. 2014b. *Risks and Chances: Uncertainty, Forecasting and Evaluation*. M.: KRASAND / URSS.
- Madera A.G. 2014v. Risks and chances: Decision-making under uncertainty. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom* (2): 12–22.
- International Standard ISO 9000: 2000. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary of quality management systems*.
- Petrusevich A.V. 2011. Optimal production output decisions under demand uncertainty. *Rossiiskij zhurnal menedzhmenta* 9 (4): 35–50.
- Porter M. 2001. *The Competition*. Transl. from English. M.: Publishing House “Williams”.
- Robson M., Ullah P.H. 2003. *Business Process Reengineering*. Transl. from English. M.: Unity.
- Sloman J. 2006. *Principles of Economics*. Transl. from English. M.: Prospect.
- Harrington H., Esseling K.C., van Nimwegen H. 2002. *Business Process Improvement Workbook: Documentation, Analysis, Design, and Management of Business Process Improvement*. Transl. from English. SPb.: Azbuka.

*Статья поступила в редакцию  
12 мая 2015 г.*