**Системный анализ и математическое регулирование
бизнес-процесса учета затрат на строительство объектов
нефтяной и газовой промышленности**

Р. И. Хамидуллин

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия
e-mail: hamidullinri@tyuiu.ru*

Аннотация. Работа посвящена математическим основам создания концептуальной оптимальной математической модели бизнес-процесса разработки сметной документации при строительстве и реконструкции нефтегазовых объектов. Существующие научно-практические работы по тематике математического регулирования бизнес-процессов носят лишь дескриптивный характер управления бизнес-процессами и не могут решить поставленные задачи исследования по улучшению деятельности проектно-сметного учета затрат. Затронуты такие вопросы, как представление процесса разработки проекта на строительство в виде сложной системы и исследование его в более детализированном виде. Управление бизнес-процессом представляется в виде применения системного подхода, математического регулирования и улучшения стратегии функционирования и представления исследуемого бизнес-процесса в виде оптимизационной модели, состоящей из отдельных взаимосвязанных процессных звеньев. Также модель описывается основными моментами проведения ее оптимизации и рекомендаций для усовершенствования модели. Полученные концепции и модель должны удовлетворять текущему состоянию исследуемого процесса затрат на строительство объектов нефтегазовой отрасли с учетом факторов неопределенности будущего.

Ключевые слова: системный анализ; моделирование; бизнес-процессы; математическое моделирование; нефтегазовая отрасль; проектно-сметная документация; оптимизация

**System analysis and mathematical regulation of the business process
of accounting costs on construction of oil and gas facilities**

Ruslan I. Khamidullin

*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
e-mail: hamidullinri@tyuiu.ru*

Abstract. The article is devoted to the mathematical foundations of creating a conceptual optimal mathematical model of the business process for developing estimate documentation for the construction and reconstruction of oil and gas facilities. Existing scientific and practical work on the subject of mathematical regulation of business processes is only a descriptive nature of business process management and cannot solve the set research problems of improving the performance of design and cost accounting. Issues such as the presentation of the project development process for the construction in the form of a complex system, and its study in a more detailed form are touched upon. Business process management is presented in the form of applying a systems approach, mathematical regulation and improvement of the strategy of functioning and presentation of the business process under study in the form of an optimization model consisting of separate interconnected process units. Also, the model describes the main points of its optimi-

zation and recommendations for improving the model. The resulting concepts and model should satisfy the current state of the process being studied the cost of building oil and gas facilities, taking into account the uncertainties of the future.

Key words: system analysis; modeling; business processes; math modeling; oil and gas industry; design and estimate documentation; optimization

Введение

В современных условиях производства руководители и рабочие обращаются к инновационным методам, которые, несомненно, будут необходимы для повышения производительности труда и эффективности ведения бизнеса. Этот незаменимый тезис всегда актуален, и понимание термина «инновация» у каждого свое.

Особую проблематику несут в себе строительство и реконструкция нефтегазовых объектов в условиях нестабильной экономической ситуации. Все процессы строительства, организуемые на севере, сопровождаются поднимающимся с каждым годом темпом строительства и, соответственно, ростом затрат (рис. 1) не только качественной застройкой скважин, но и вспомогательных объектов, которые необходимы для осуществления общей трудовой деятельности на объектах нефтегазового месторождения.

Рис. 1. Динамика объема работ, выполненных в период 2015–2017 гг. по виду деятельности «Строительство» нефтяной и газовой промышленности

Нефтегазовые объекты нуждаются не просто в качественной застройке, но и первоначальной оценке затрат на их строительство, и расчете сметных документов. Благодаря уже проведенным исследованиям [1–6] был сделан вывод о том, что не более пятой части крупнейших нефтегазовых проектов можно с уверенностью назвать успешными с точки зрения соблюдения всех заявленных стоимостных и временных рамок. Особенно важную роль играет подготовка первоначальных этапов при проведении строительства — это оценка затрат и правильный подсчет всех норм и ценовой политики. В этой связи безусловным моментом будет являться то, что необходимо рассматривать не только технологии строительства, но и грамотное управление в виде использования современных аналитических и

информационных концепций оценки затрат и переходных показателей цифровой экономики [1].

Данная оценка затрат в инженерной терминологии называется сметной документацией, которая предоставляет полный комплект расчета стоимости строительства в проектных, строительных, монтажных и ремонтно-строительных организациях. Стоит отметить, что основными объектами управления должны стать именно затраты, зависящие от времени постройки, в то время как затраты, которые зависят от объема работ, являются менее управляемыми цифровыми инструментами. Поэтому без основательной переработки этой деятельности управление затрат в виде внедрения инноваций просто необходимо.

Данный вид деятельности с уверенностью можно назвать бизнес-процессом, ведь бизнес-процесс — это множество связанных видов деятельности, преобразующих входы в выходы. При этом главным фактором будет являться результат самого процесса на выходе, где сам выход — это то действие, которое будет составлять некую ценность для потребителя (клиента) и будет востребовано им. Сметная деятельность удовлетворяет всем словам данного определения.

Если рассмотреть структуру бизнес-процесса сметной деятельности, можно сделать вывод, что это вполне себе сложная система, а ее компоненты — это совокупность взаимодействующих организационных единиц (звеньев, операций), которые осуществляют различные виды деятельности, подчиненные достижению единой общей цели, направленной на производство. Главная цель сметного проектирования — это взаимосвязанные организационно-функциональные операции, которые приводят к конечному и правильному продукту — смете [2]. Рассмотреть данные процессы в управлении сметного проектирования при строительстве нефтегазовых объектов помогут теория процессов и системный подход, где будет понимание того, из чего состоит система, и какие разнородные организационные единицы или, иначе говоря, функциональные операции содержатся.

Но здесь не только произойдет понимание состава системы, но и также детализации структуры функционирования исследуемых процессов сложных систем — за все это отвечают именно методы научного познания, такие как системный анализ, и приложения в виде современных системных и процессных подходов управления системами и процессами. Если обратиться к теории систем, то ключевым объектом являются сама система и ее внутренние процессы, где есть поступающие в нее события, информация и выход с результатом работы системы. Но что находится внутри системы — неизвестно (черный ящик) (рис. 2), а ее управление зависит именно от влияния окружающей среды с учетом управляющих факторов внутри системы.

Рис. 2. Система как черный ящик

Системный подход нужен именно для детализации процесса и ее грамотного управления. Все эти компоненты и функциональные требования преследуют общую цель и активно развиваются в научном и практическом аспектах. В отличие от традиционного информационного менеджмента управления процессами организации системный и процессный подходы направлены 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.

Все вышесказанное наводит на конечный вывод о необходимости применения системного и процессного подходов в управлении бизнес-процессами составления сметной документации. При этом стоит отметить, эти подходы включают в себя не просто регламентирование тех или иных видов деятельности, а ее экономико-математическую оптимизацию.

Материалы и методы исследования

Согласно мнению руководителей проектных институтов, бизнес-процесс составления сметной документации представляет весьма трудоемкий и сложный процесс [3]. Инженеры-сметчики, которые занимаются реализацией данного процесса, сталкиваются с очень большим объемом данных, которые не всегда можно обработать быстро, ключевым фактором выполнения служат прикладные программные продукты, с помощью которых данный процесс выполняется [4].

Но данные программные продукты — это всего лишь инструмент в руках инженера, при этом качество выполнения самого процесса не всегда является идеальным. Если провести анализ данной деятельности, собрать данные для моделирования и найти те оптимальные решения, то это все будет служить мощным инструментарием для грамотного управления и совершения данного процесса [1, 5].

Для качественного проектирования бизнес-процессов необходимо проводить их математическое регулирование в виде построения оптимизационных моделей. Стоит отметить, что на сегодняшний день проведение моделирования бизнес-процессов является преимущественно дескриптивным (описательным), где происходит некое описание (нотации) потоков информационных данных. Такие подходы для моделирования бизнес-процессов не совсем универсальны, так как происходит лишь регламентация процессов в виде неполной детализации документооборота [1, 5].

Все это выполнение организационных мероприятий по регламентированию и функционированию бизнес-процессов оптимизацией не является. Было проведено исследование, которое показало, что все эти мероприятия не дают гарантию оптимального управления тем или иным бизнес-процессом. Описательное моделирование бизнес-процессов с использованием всем широко известных нотаций, таких как IDEF0, DFD, BPMN, не может внести свои критерии оптимизации и факторы автоматизации бизнес-процессов. Оптимизацию необходимо проводить с использованием математического моделирования бизнес-процесса, где сам бизнес-процесс в виде модели будет подробно исследован и изучен [2, 6]. Также модель бизнес-процесса будет дополнена нужными критериями его оптимизации [7]. В научном мире существует не так много научно-практических работ по математическому моделированию бизнес-процессов, особенно не учитываются такие факторы, как работа в условиях неопределенности, разбиение процесса на подпроцессы для оперативного изучения и нахождения связи между ними.

Оптимизация бизнес-процесса составления сметной документации состоит в оценке объемов ресурсов и производимой продукции (сметных расчетов, нормирование, услуги) в каждом процессном звене и во всем бизнес-процессе в целом, является первоочередной задачей при проектировании любого бизнес-процесса (производственного, обслуживающего, сервисного, распределительного и др.). Ввиду неопределенности будущего спроса на итоговый продукт в виде адекватной работы бизнес-процесса, неопределенности цен продажи продукта в будущем и закупки необходимых ресурсов для производства, неопределенности инвестиций и их последствий получается, что адекватная оптимизация бизнес-процесса должна быть только в условиях неопределенности будущего [7, 8]. Для составления математической модели оптимизации работы исследуемого бизнес-процесса необхо-

димо составить критерии, которые будут отражать неопределенность будущего, возможные результаты работы бизнес-процесса. Все эти критерии должны быть актуализированы только в будущем, как с точки зрения финансовых результатов, так и с позиции результирующего продукта на выходе всего процесса.

В данной работе предлагаются концепции математической оптимизационной модели управления бизнес-процессом в условиях нестабильной экономической обстановки. Итоговое состояние бизнес-процесса должно удовлетворять всем экономически выгодным вариантам реализации проекта строительства и реконструкции вспомогательных объектов нефтегазовой сферы. Задача математической оптимизации — это, несомненно, помощь в управлении данным бизнес-процессом для качественной работы при проведении строительства.

Экспериментальная часть

При составлении структурной модели исследуемого бизнес-процесса были учтены все моменты работы данного вида деятельности [9]. Модель учитывает процессные звенья (каждая отдельная операция), на вход которых поступают потоки ресурсов, требований и иных регламентирующих факторов, разделенных на две части: $Z = \{X; Y\}$. Вектор потоков $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ на входе в i -е процессное звено включает потоки факторов производства или установочных требований из внешней среды; вектор потоков $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ включает продукты, услуги, операции, произведенные в предшествующих i -му звену процессных звеньях, которые являются входными ресурсами для осуществления производства в данном i -м звене. Модель данных потоков ресурсов обозначается кружками, процессные производственные звенья — прямоугольниками, сервисные звенья — ромбами, поступление ресурсов и/или продуктов — стрелками (рис. 3 а).

Рис. 3. Модель потоков ресурсов:

а) — структурная модель бизнес-процесса (пример); б) — модель процессного звена

Математической моделью производственной операции по переработке данных ресурсов, которая совершается в производственном звене на входе звена в продукт на общем выходе, может служить производственная функция (ПФ). Для процессного звена i с ресурсами X и Y на входе и одним произведенным в звене i продуктом на выходе (рис. 3 б) математическая модель представляет собой многофакторную ПФ

$$F_i = f_i\{(x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_k)\}. \quad (1)$$

ПФ и ее конкретный вид должны устанавливаться только 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. Вместе с физическим преобразованием факторов производства, которые поступают на вход самого 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 [9]). Также стоит отметить, что ресурсы, которые поступают на вход звена i в объемах $x_1, x_2, \dots, x_n$ и $y_1, y_2, \dots, y_k$, имеют стоимости (на единицу объема) $p_1, p_2, \dots, p_n$ и $q_1, q_2, \dots, q_k$, соответственно, получим полную стоимость ресурсов, поступающих на вход процессного звена i

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i + \sum_{i=1}^k q_i y_i. \quad (2)$$

В каждом звене i бизнес-процесса стоимость (2) потока на входе преобразуется в стоимость потока на выходе, обусловленную издержками Δq_i , понесенными в процессе производства продукта в i -м звене. Тогда полная стоимость потока на выходе звена i может быть записана в виде

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i + \sum_{i=1}^k q_i y_i + \Delta q_i F_i. \quad (3)$$

При моделировании бизнес-процесса и дальнейшей оптимизации необходимо учитывать оптимальные требования факторов производства для получения конечного продукта. Спрос и цены на факторы производства носят неопределенный характер и заранее неизвестны. Реальными исходными данными будут служить характеристики состояния экономики и финансов, сложившаяся рыночная конъюнктура при составлении сметной документации с ценами $c_1, c_2, \dots, c_i$ на факторы производства $x_1, x_2, \dots, x_i$ ($x_i \geq 0, j = 1, \dots, i$) и ценой продажи c_i конечного продукта, получаемого на выходе конечного i -го процессного звена, известной величиной финансовых ресурсов j , ассигнованных на бизнес-процесс [7]. В предположении, что структура бизнес-процесса и состав входящих в него организационных единиц выбраны, решается следующая оптимизационная задача: определить оптимальную стоимость конечного продукта, сметы (F_i), на выходе конечного i -го звена и оптимальные объемы факторов производства $x_1, x_2, \dots, x_i$, максимизирующих прибыль всего бизнес-процесса. Соответствующая математическая модель имеет вид

$$c_i \cdot F_i(x_1, x_2, \dots, x_i) - (c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_i x_i) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Проведение оптимизации объема производства конечного продукта (проекта) F_i должно быть предварительно выражено через ПФ всех предшествующих звеньев бизнес-процесса и содержать в конечном виде зависимости от объемов факторов производства $x_1, x_2, \dots, x_i$ [10–14]. Данная операция должна достигаться путем композиции, то есть процесса вложения одной ПФ в другую, где предшествующие звенья ПФ конечного звена $F_i(x_1, x_2, \dots, x_i)$ выстраиваются в последовательности, которая начинается с ПФ последнего звена процесса и заканчивается ПФ первого звена.

Результаты и обсуждение

Данный бизнес-процесс создается для достижения глобальной цели, заключающейся в выпуске конечного продукта (сметы), поэтому оптимизация бизнес-процесса должна проводиться для всей структурной модели процесса (см. 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.

Данная математическая интерпретация управления бизнес-процессом охватывает экономические позиции и структуру ведения данного процесса. Все полученные значения будут играть роль при выполнении того или иного процессного звена.

Стоит также отметить, что исследование данного вопроса должно учитывать не только экономические позиции ведения бизнес-процесса, но и само функционирование всех процессных звеньев в рамках целостности. Для этого будут использоваться такие параметры, как частота выполнения (λ) отдельного процессного звена и его время (t). Данное дополнение поможет повысить эффективность бизнес-процесса и выявление слабых мест при выполнении той или иной операции в общей структуре.

Все эти факторы будут учтены в моделировании оценки затрат труда пользователей прикладных программ для создания сметной документации. Данный метод даст возможность оценить случайный характер исполнения процессного звена, а также позволит построить модель довольно сложной системы, что несомненно даст реальную возможность провести эксперименты с моделью и оценить те или иные решения, например, по выбору универсального программного продукта (ПП) для решения оптимизации или направлений автоматизации [4, 15].

Выводы

Моделирование и управление бизнес-процессами, которые понимаются и принимаются как подверженные оптимизации и синтезу структуры, а также учету необходимых факторов и параметров бизнес-процесса, — все это до сих пор не получило должного научного развития. Существующие на сегодняшний день подходы к моделированию в виде называемой оптимизации бизнес-процессов носят только описательный характер и на деле оптимизацией не являются, поскольку не позволяют осуществлять их количественную математическую оценку.

Разработанные концепции математического моделирования и управления бизнес-процессом ориентируются на отдельный проект строительства, то есть это составление сметной документации и оценка затрат на проект. В зависимости от специфики и характеристик каждого проекта исходные данные разрабатываемой модели, а также ее структура и полученные результаты при проведении моделирования могут значительно меняться.

Все это дает нам право на детальную проверку модели на адекватность и дополнение модели критериями в условиях неопределенности. Условия неопределенности — очень важный фактор для успешности сметного просчета проекта на строительство. Нефтегазовая проектная отрасль несомненно выиграет от математических концепций управления экономически важных процессов, что даст тот мощный инструмент для не только его управления, но и упрощения работы над этими процессами.

Библиографический список

1. Хамидуллин Р. И., Сенкевич Л. Б. О необходимости математического моделирования бизнес-процесса сметных расчетов при строительстве нефтегазовых объектов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2017. — № 6. — С. 139–145. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-139-145
2. Хамидуллин Р. И. Основные концепции разработки математической модели бизнес-процесса сметных расчетов строительства вспомогательных нефтегазовых объектов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2018. — № 3. — С. 102–108. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-3-102-107

3. Hamidullin R. I. Development peculiarities of mathematical business processes activity model forestimated design and construction organizations // Новые технологии — нефтегазовому региону: материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. — Тюмень, 2017. — С. 414–415.
4. Хамидуллин Р. И., Сенкевич Л. Б. Автоматизация работы инженера-сметчика строительно-сметного отдела ООО «ТоболСтройСервис» // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 11–1. — С. 110–114.
5. Khamidullin R. I. Basic concepts of formalizing the business process of design and estimate calculations in the construction and repair of oil and gas facilities // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 181 (2018) 012036. DOI: 10.1088/1755-1315/181/1/012036
6. Khamidullin R. I. Milestones of mathematical model for business process management related to cost estimate documentation in petroleum industry // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032053. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032053
7. Мадера А. Г. Математическое моделирование и оптимизация бизнес-процессов на основе комплексного критерия «шансы — риски» // Российский журнал менеджмента. — 2015. — Т. 13, № 4. — С. 51–68.
8. Концепция создания линейки программных продуктов для оценки затрат на разных стадиях реализации нефтегазовых проектов / С. В. Чижиков [и др.] // Нефтяное хозяйство. — 2014. — № 9. — С. 20–23.
9. A recommendation system for predicting risks across multiple business process instances / R. Conforti [et al.] // Decision Support Systems. — 2015. — Vol. 69. — P. 1–19. DOI: 10.1016/j.dss.2014.10.006
10. Tiwari A., Vergidis K., Turner C. J. Evolutionary multi-objective optimisation of business processes // Eds. X. Z. Gao, A. Gaspar-Cunha, M. Köppen, G. Schaefer, J. Wang // Advances in Intelligent and Soft Computing: Soft Computing in Industrial Applications. — Heidelberg: Springer. — P. 293–301.
11. Sawicki P., Sawicka H. Logistics process improvement using simulation and stochastic multiple criteria decision aiding // Procedia Social and Behavioral Sciences. — 2014. — Vol. 111. — P. 213–223. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.054
12. Business process mining: From theory to practice / C. J. Turner [et al.] // Business Process Management Journal. — 2012. — Vol. 18 (3). — P. 493–512.
13. Управление стратегическим развитием жизнеспособных экономических систем: модели, механизмы и инструменты: моногр. / Т. Ю. Беликова [и др.]. — Т. 2: Прикладные аспекты моделирования процессов управления стратегическим развитием жизнеспособных экономических систем. — Донецк, 2012. — 381 с.
14. Merrow E. Oil and Gas Industry Megaprojects: Our Recent Track Record // Oil and Gas Facilities. — 2012. — Vol. 1, Issue 2. — P. 38–42. DOI: 10.2118/153695-PA
15. Vergidis K., Tiwari A., Majeed B. Business process analysis and optimization: beyond reengineering // IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics – Part C: Application and Reviews. — 2008. — Vol. 38, Issue 1. — P. 69–82. DOI: 10.1109/TSMCC.2007.905812

Сведения об авторе

Хамидуллин Руслан Игоревич, аспирант, ассистент кафедры кибернетических систем, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: hamidullinri@tyuiu.ru

Information about the author

Ruslan I. Khamidullin, Postgraduate, Assistant at the Department of Cybernetic Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: hamidullinri@tyuiu.ru