

## SIMULATION MODELLING FOR NETWORK TECHNOLOGICAL PROCESSES OF SEAPORTS CARGO HANDLING

**A. L. Kuznetsov<sup>1</sup>, A. V. Kirichenko<sup>1</sup>, A. D. Semenov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> — Yanino Logistics Park LLC, Leningrad Region, Russian Federation

*Since middle 1960s methods of network planning and running have become one of the decision-making tools. The networks (graphs) are used to formulate and solve different practical issues connected with implementation of activities (events) sequence. Some of these issues have become axiomatic. Development of programming tools led to these methods recovery based on the modern technologies, which allows a researcher to provide fast and reliable forecasts of the under-study processes behavior. The Business Process Model and Notation (BPMN) have been developed and widely used. BPMN is notation of business processes modelling, which is the interface between business process formalization and its practical implementation. The notation is represented as the number of graphical elements which are used in business processes description. It is often used for description and formalization of business processes on easy-to-understand level. But BPMN also allows you to automate the company activity. The algorithm of object-oriented network model is considered in the paper. The model is applied to maritime transport business processes which conveniently can be described in BPMN. Application of the approach particularly means building the networks simulation model. This allows you to provide stochastic analysis of business processes in the case of stochastic nature of the processes implementation and alternative critical paths. The authors believe that the model can be widely used. The stochastic nature of the weights of the network model edges, as shown by experimental tests of the approach presented in the paper, allows one to observe changes in the critical path. This ambiguous solution allows, in principle, to rationally reserve the necessary resources.*

*Keywords: business processes, simulation modelling, networks, critical paths.*

### **For citation:**

Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Anton D. Semenov. “Simulation modelling for network technological processes of seaports cargo handling.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogoflota imeni admirala S.O. Makarova* 12.3 (2020): 526–536. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-526-536.

**УДК 656.615**

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГРУЗООБРАБОТКИ В МОРСКИХ ПОРТАХ

**А. Л. Кузнецов<sup>1</sup>, А. В. Кириченко<sup>1</sup>, А. Д. Семенов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> — ООО «Логистический Парк «Янино»,  
Ленинградская область, Российская Федерация

*Рассмотрены вошедшие в практику с середины 1960-х гг. обоснования управленческих решений — методы сетевого планирования и управления. На сетях (графах) ставится и решается множество задач, связанных с выполнением последовательности работ (наступления последовательных событий), при этом некоторые являются уже хрестоматийными. Отмечается, что развитие в настоящее время программных средств и сред программирования привело к своеобразной «реанимации» апробированных сетевых методов на новой базе, в свою очередь, обеспечивающих достаточно быстрый и достоверный прогноз раз-*

вития управляемых процессов для анализа любых возможных вариантов решений. Разработан и получен развитие BPMN (Business Process Model and Notation) — язык моделирования бизнес-процессов, который является промежуточным звеном между формализацией / визуализацией и воплощением бизнес-процесса. Нотация представляет собой описание графических элементов, используемых для построения схемы протекания бизнес-процесса. Подчеркивается, что такая схема как минимум целесообразна для того, чтобы выстроить в соответствии с ней бизнес-процесс и регламентировать его для всех участников, как максимум моделирование BPMN позволяет выполнить автоматизацию бизнес-процессов в соответствии с имеющейся схемой. В статье применительно к бизнес-процессам морского транспорта в нотации BPMN представлен оригинальный алгоритм функционирования объектной модели сетевого графика, основанного на логических переходах. Применение подобного подхода практически означает построение имитационной модели на базе сетевой, что позволяет осуществлять достоверный анализ стохастического протекания бизнес-процессов с формированием альтернативных (в зависимости от случайного сочетания условий функционирования) критических путей. Модель, по мнению авторов исследования, имеет большую сферу и широкие возможности применения. Стохастический характер весов ребер сетевой модели, как показывают экспериментальные проверки приведенного в исследовании подхода, позволяет наблюдать изменения критического пути. Данное неоднозначное решение дает возможность, в принципе, рационально резервировать необходимые ресурсы.

*Ключевые слова:* бизнес-процессы, моделирование, сетевые графы, критический путь, среда программирования, управленческие задачи.

**Для цитирования:**

Кузнецов А. Л. Имитационное моделирование сетевых технологических процессов грузообработки в морских портах / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 526–536. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-526-536.

### **Введение (Introduction)**

Рациональное планирование бизнес-процессов, в том числе транспортных, является в различной степени сложной задачей, в основе решения которой в настоящее время находится моделирование. Вошедшую в оборот аббревиатуру BPM расшифровывают двояко: Business Process Modeling и Business Process Management. В первом случае это непосредственно моделирование бизнес-процесса, во втором — управление бизнес-процессами, т. е. общая система, частью которой является Business Process Modeling [1]–[3]. В настоящее время остаются актуальными сетевые модели, достаточно адекватно описывающие цепочки событий, столь характерные для процессов на транспорте [4]–[7]. Современное развитие языков и сред программирования позволяет решать управленческие задачи, обеспечивая достаточно быстрый и достоверный прогноз развития управляемых процессов для анализа любых возможных вариантов решений [8]–[10].

Деятельность морских портов, связанная с обработкой судов (прием лоцмана, прохождение подходного канала, буксировка, постановка к причалу, швартовка, оформление документации, погрузо-разгрузочные работы и др.), в полной мере относится к указанному классу задач [11]–[13]. Более того, на отдельные взаимосвязанные технологические операции традиционно разбивается и основной компонент процесса обработки — погрузочно-разгрузочные работы. Все операции, рассматриваемые на соответствующих уровнях, являются ничем иным, как бизнес-процессами. Поскольку анализ портовых и внутрипортовых операций появился значительно раньше, соответствующие операции сохраняли свое название и традиционно связанные с ними инструменты анализа. Первый шаг в развитии этого инструментария был связан с появлением новых методов анализа операций — сетевых моделей [14]. В сетевых моделях, используемых для анализа операций, вершинами графа являются однотипные объекты. Каждый объект является некоторым событием, от инициации до завершения которого проходит определенный период времени. Инициация события осуществляется определенными действиями, которые представлены ребрами графа. Действия не имеют длительности и отражают лишь причинно-следственные связи между событиями. Входящие в вершину ребра графа иницируют соответствующее событие по логике И или ИЛИ (рис. 1).

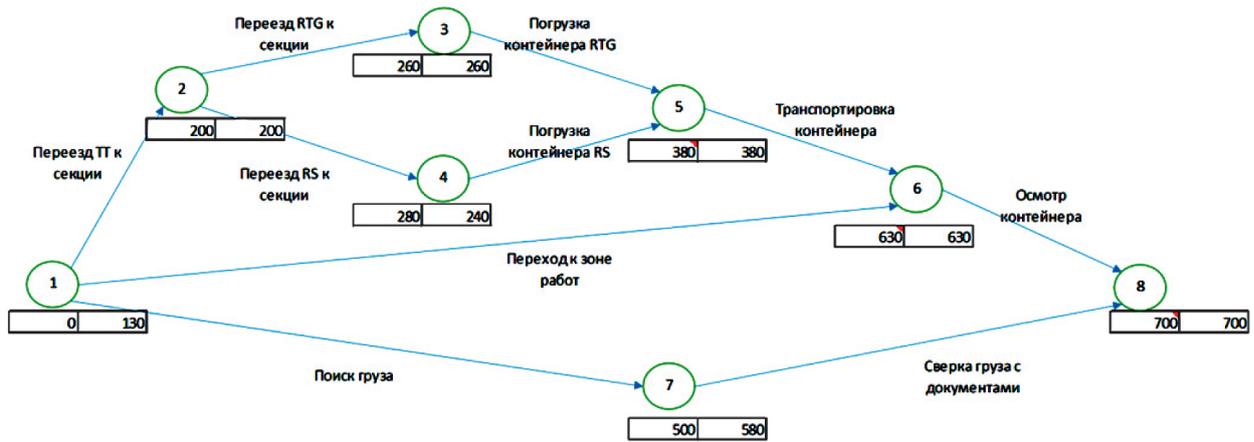


Рис. 1. Пример сетевой модели

Модели данного типа часто используются для представления производственных и технологических процессов, протекающих в морских портах [14], [15]. В то же время на современном этапе для анализа бизнес-процессов выразительных средств сетевых моделей оказывается недостаточно, поскольку инициирующие действия могут быть реализованы одновременно как по логике И, так и по логике ИЛИ. Более того, в зависимости от характеристик поступающей в систему заявки («работы») бизнес-процесс может пойти по разным маршрутам графа («траекториям»). Таким образом, в графической модели бизнес-процесса могут присутствовать «решающие», или логические элементы, которые определяют траекторию процесса. Наконец, в бизнес-процессах отдельные операции на графе могут выполняться агентом, который может быть свободен или занят в момент поступления инициирующей заявки. В этом случае дальнейшая обработка процесса может быть задержана.

В данной статье исследуется метод моделирования обобщенных сетевых графов, описывающих бизнес-процессы, протекающие при обработке судов в морских портах. Для наглядности и универсальности при описании используется терминология и нотация BPMN [2].

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Для того чтобы иметь возможность учитывать особенности бизнес-процессов, в сетевой модели вместо однотипных вершин графа необходимо ввести объекты разных классов, каждый из которых будет выполнять свою функцию. Кроме того, необходимо определить объект «заявка», который будет перемещаться между вершинами графа, инициируя составляющие процесс события.

К основным типам вершин графа относятся следующие объекты:

- обработка — задерживает заявку на определенное время;
- инициация(по И, по ИЛИ) — запускает последовательности событий;
- выбор (исключающее ИЛИ) — определяет ветвь маршрута, по которой следует заявка.

Рассмотрим принцип работы этих элементов на следующих примерах.

Пример 1. *Обработка*. Предположим, что бизнес-процесс представляет собой последовательность действий (рис. 2). В данном случае заявка, вышедшая из зеленого круга, будет последовательно перемещаться между действиями, задерживаясь на заданные промежутки времени. Общее время операции составит 14 мин.

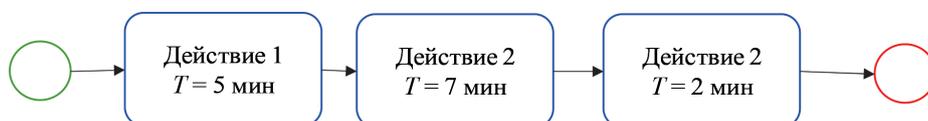


Рис. 2. Последовательность действий

Пример 2. *Выбор*. Пусть имеется процесс, в котором *Действие 2* выполняется при *условии 1*, а *действие 3* — при *условии 2* (рис. 3).

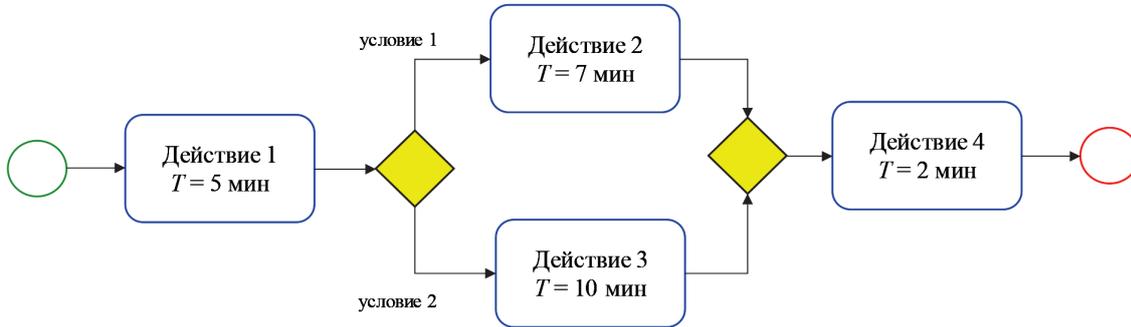


Рис. 3. Исключающее ИЛИ

При этом будем считать, что *условие 1* и *условие 2* являются характеристиками заявки. В таком случае, в зависимости от характеристики заявки, процесс может занять 14 мин или 17 мин.

Пример 3. *Запуск* (Логика по И). Пусть *Действие 2* и *Действие 3* должны выполняться параллельно. Перейти к следующему действию можно только в том случае, если оба предыдущие действия были выполнены. Модель процесса представлена на рис. 4. В результате весь процесс будет выполнен за 17 мин.

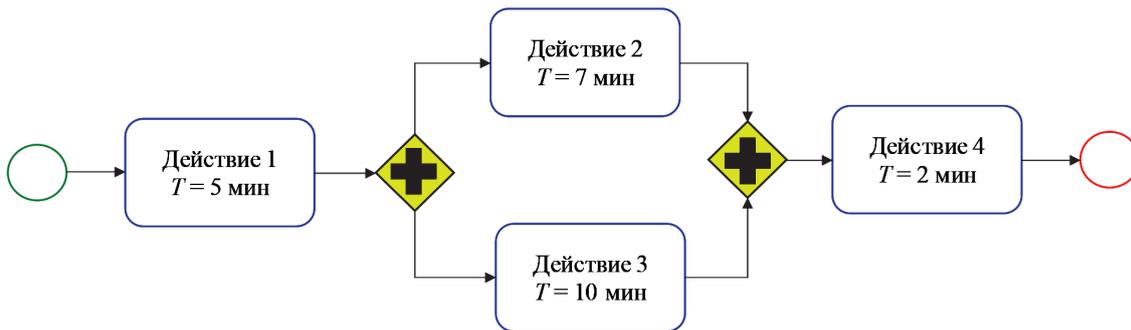


Рис. 4. Логика по И

Пример 4. *Запуск* (Логика по ИЛИ). Пусть *Действие 2* и *Действие 3* также выполняются параллельно, но перейти к следующему действию можно в том случае, если было выполнено хотя бы одно из них (рис. 5). В данном случае весь процесс займет 14 мин.

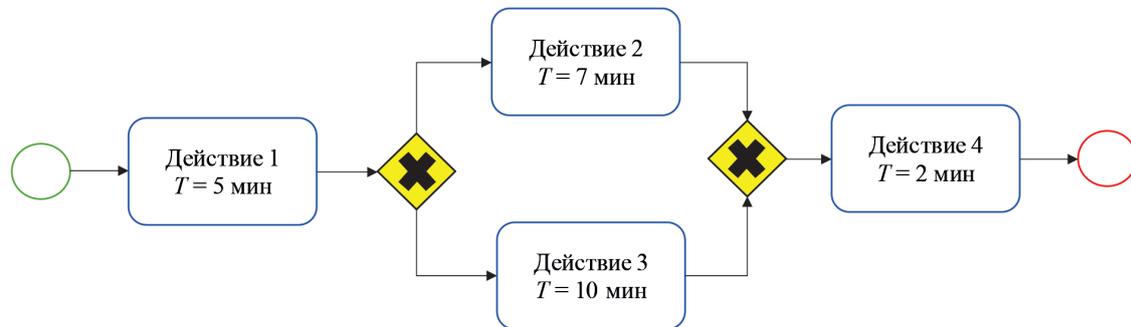


Рис. 5. Логика по ИЛИ

Традиционные методы сетевого анализа неприменимы для исследования графов такого типа. Именно данное обстоятельство обуславливает необходимость разработки алгоритма, который учитывает структуру бизнес-процесса, а также случайный характер поступления и обработ-

ки заявок. Исследование разработанного в данной работе алгоритма из этого класса и является целью данной публикации.

Для описания алгоритма работы модели примем следующие обозначения:

- `order` — переменная, содержащая экземпляр класса «заявка» — каждый экземпляр содержит имя заявки, начальную точку, точку назначения, а также информацию, которую содержит заявка, и время ожидания;
- `get_position()` — метод класса «заявка» — возвращает код вершины, в которой находится заявка;
- `set_position(new_position)` — метод класса «заявка» — перемещает заявку в вершину с кодом `new_position`;
- `get_waiting_time()` — метод класса «заявка» — возвращает оставшееся время, в течение которого заявка останется в текущей позиции;
- `set_waiting_time(time)` — метод класса «заявка» — устанавливает время ожидания заявки в текущей вершине равным `time`;
- `get_total_time()` — метод класса «заявка» — возвращает время, которое заявка провела в системе;
- `increase_total_time()` — метод класса «заявка» — увеличивает общее время заявки в системе на единицу;
- `get_info()` — метод класса «заявка» — возвращает информацию, которую содержит заявка;
- `last_position` — переменная, содержащая код последней вершины, на которой заявка убывает из системы, а алгоритм прекращает работу (в общем случае таких вершин может быть несколько, процесс с одной конечной вершиной рассматривается здесь для упрощения рассуждений);
- `go_to_next_point()` — процедура перехода на следующую позицию — логика перехода на следующую вершину зависит от ее типа и рассматривается далее;
- `next_position` — переменная, которая содержит код следующей вершины.

Все классы вершин содержат следующие методы:

- `get_name()` — возвращает код вершины;
- `get_waiting_time()` — возвращает время ожидания в данной вершине;
- `check_order()` — проверяет состав заявок в данной вершине и принимает решение о возможности продолжения процесса.

Обобщенный алгоритм программы представлен на рис. 6. Схема представляет собой упрощенный алгоритм обработки заявки на одном шаге модели. Логика алгоритма помещается в бесконечный цикл времени, который прерывается, когда заявка достигла конечной вершины. Процедура перехода на следующую вершину графа зависит от ее типа. Код следующей вершины определяется по матрице смежности (табл. 1).

Таблица 1

Матрица смежности

		Код вершины													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Код вершины	1		1												
	2			1											
	3				1	1									
	4						1	1	1						
	5									1	1				
	6											1			
	7											1			
	8											1			
	9												1		
	10												1		
	11													1	
	12													1	
	13														1
	14														

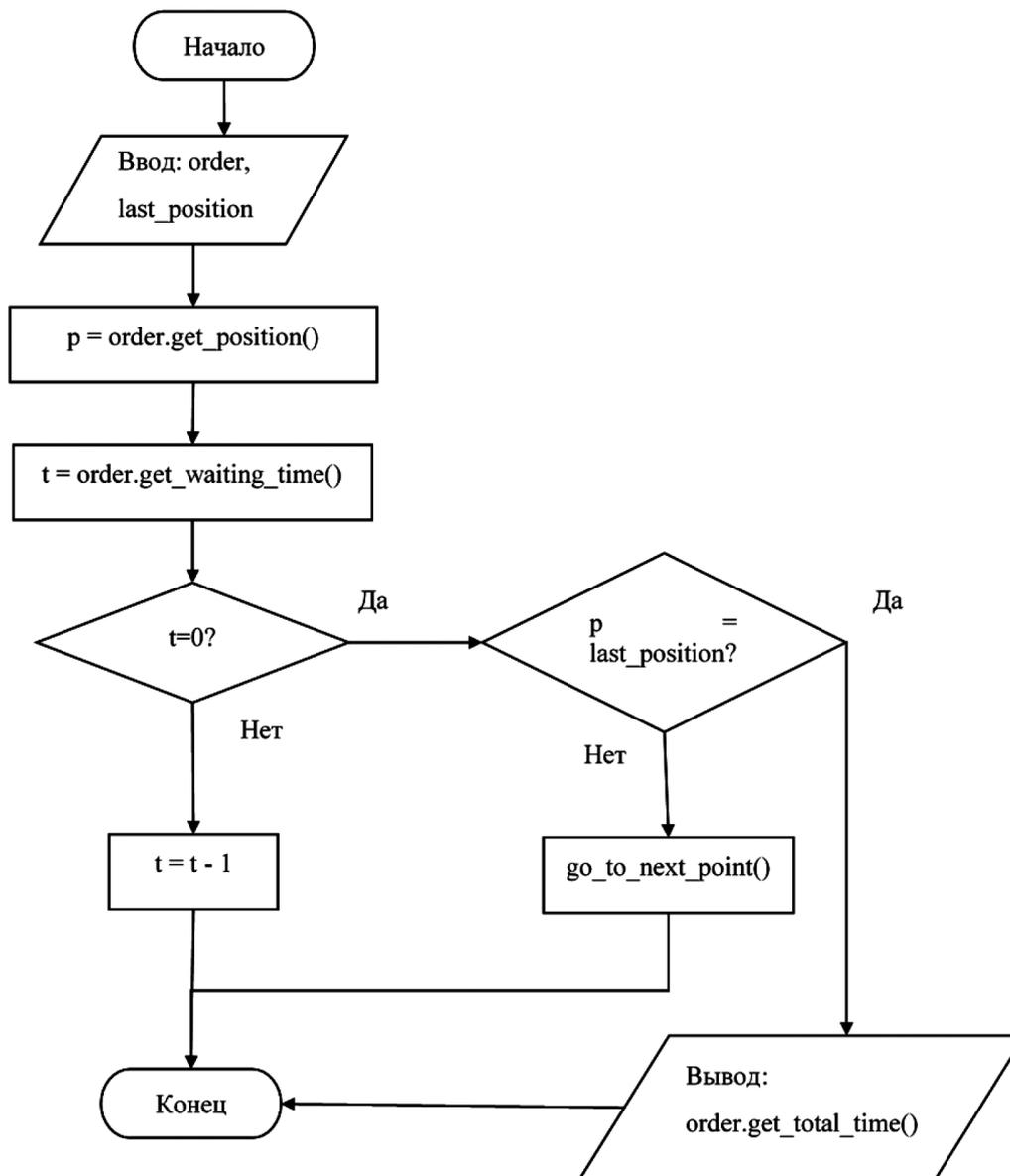


Рис. 6. Алгоритм одной итерации

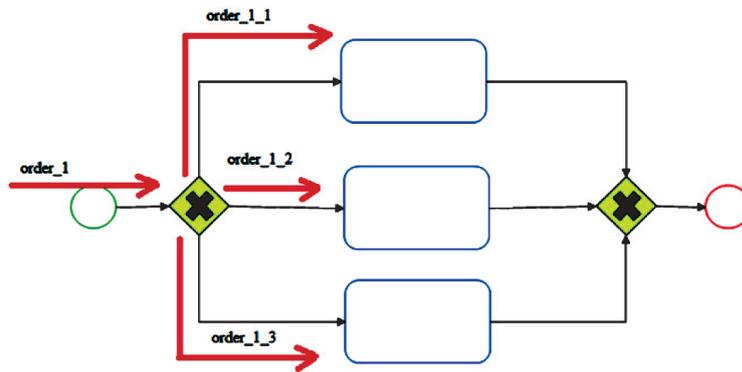
Если тип следующей вершины «Обработка», то заявка сразу переходит на эту вершину. Для перехода выполняются команды `set_position()` и `set_waiting_time()`.

Если тип следующей вершины «Выбор», то программа определяет, является ли эта вершина начальной или конечной. «Решающие» объекты представляют собой скобки для набора вершин. Как следствие, необходимо указать открывающую и закрывающую скобку. В программе для этого используется массив `logic_list`, элементами которого являются массивы пар открывающих и закрывающих «решающих» объектов.

Если следующая вершина является открывающей, то программа сравнивает все имеющиеся в данной вершине условия для перехода с информацией, которую содержит заявка. При этом в объекте класса «Выбор» содержится ассоциативная матрица вида {условие : код вершины}, которая определяет, на какую вершину перейдет заявка при выполнении соответствующего условия.

Если следующая вершина является закрывающей, то заявка переходит на эту вершину так же, как на вершину типа «Обработка». В случае, если тип следующей вершины «Инициация по И», то в начальной вершине данного типа программа создает копии заявки, которые обрабатываются при выполнении параллельных операций (рис. 7, а).

а)



б)

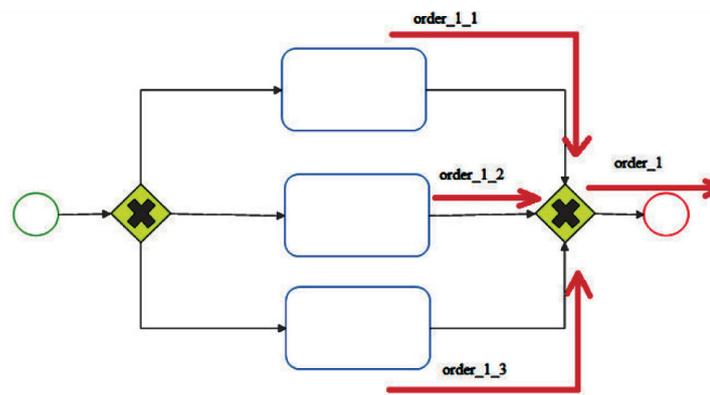


Рис. 7. Параллельная обработка копий заявки (а),  
удаление копий (б)

Оригинальная заявка на время существования копий «замораживается». Конечная вершина содержит информацию о том, какие заявки должны прийти в эту вершину, чтобы оригинальная заявка могла продолжить движение в бизнес-процессе (рис. 7, б).

Вершина типа «инициация по ИЛИ» работает аналогично объекту «Логика по И». Однако оригинальная заявка продолжает движение даже тогда, когда в конечную вершину прибыла хотя бы одна из копий.

### Результаты (Results)

Для более детального описания рассмотрим участок бизнес-процесса, составленного из нескольких рассмотренных конструкций, представленный диаграммой на рис. 8. В качестве действий могут быть рассмотрены укрупненные компоненты операций по обработке контейнерного судна в порту, включающие лоцманскую проводку, швартовку, ожидание свободной практики, раскрепление контейнеров, грузовые операции, крепление контейнеров, ожидание лоцмана, ожидание отшвартовки, отшвартовку, лоцманскую проводку на выход, подробное описание, взаимосвязь и продолжительность которых рассмотрена в монографии [15].

После выполнения Действия 1 (см. рис. 8) продолжение процесса предполагает запуск параллельных операций. Продолжение процесса (Действие 8) возможно только тогда, когда закончится наиболее длительная последовательность действий. В зависимости от типа заявки наиболее длительной операцией будет верхняя или нижняя ветвь. Так, если заявка содержит информацию, удовлетворяющую условию 2, длительность процесса будет определяться верхней совокупностью действий. Критический путь будет состоять из действий «1–2–8».

В этом случае длительность всего процесса составит  $5 + 3 + 5 = 13$  единиц времени. Иначе длительность процесса будет определяться маршрутом: «1–7–5–8», а общее время процесса составит:  $5 + 1 + 8 + 5 = 19$  единиц. Предположим теперь, что в систему поступают заявки, которые с вероятностью 0,5 содержат информацию, удовлетворяющую *условию 1*, и с вероятностью 0,5 — *условию 2* (см. рис. 8). Результат экспериментов с моделью в этом случае представлен на рис. 9. Очевидно, что различия частоты вариантов объясняются конечным числом экспериментов, и при росте их числа частоты будут приближаться к вероятности.

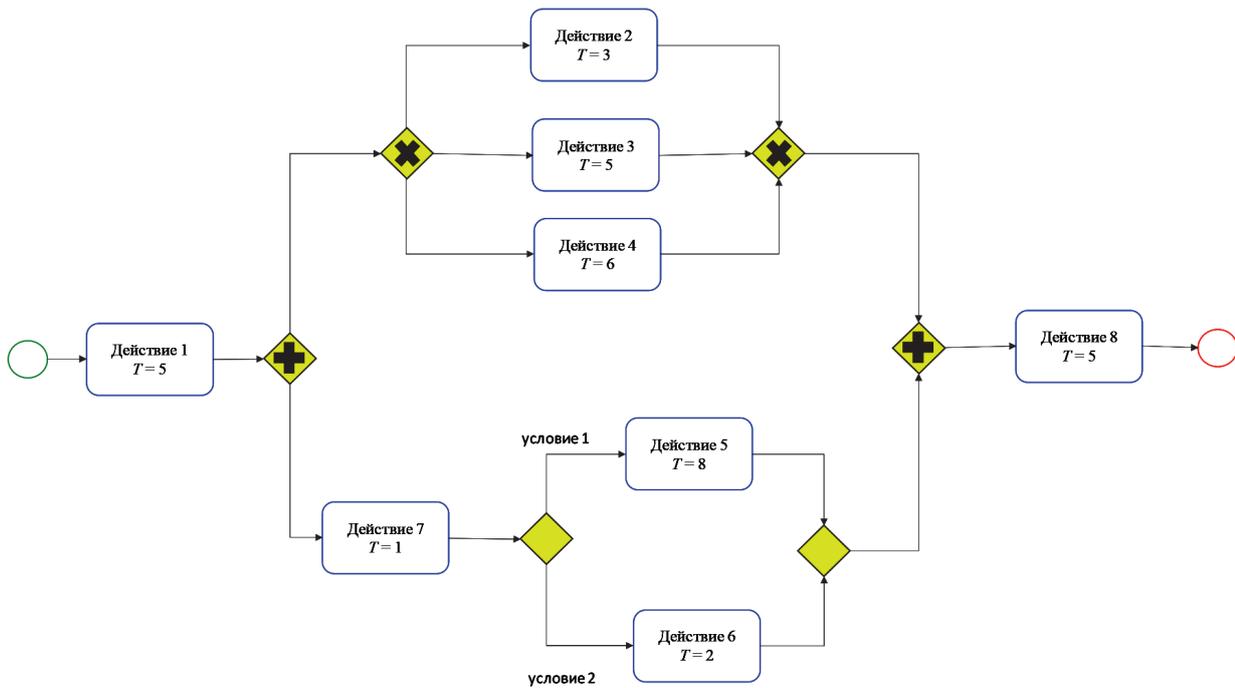


Рис. 8. Диаграмма бизнес-процесса

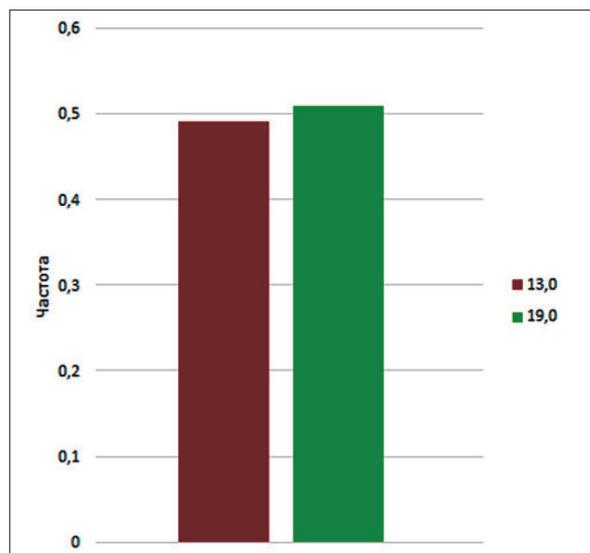


Рис. 9. Распределение продолжительности бизнес-процесса

Предположим теперь, что вместо детерминированной продолжительности действия известно распределение случайной интенсивности, с которой оно выполняется. В таком случае

показанные на рис. 9 значения «расщепляются», и случайное распределение продолжительности бизнес-процесса принимает вид рис. 10.

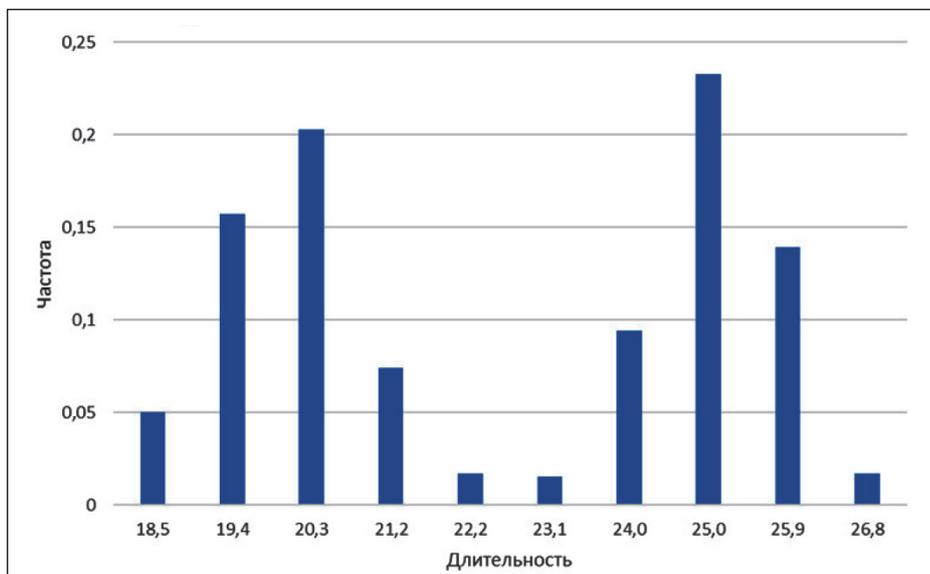


Рис. 10. Распределение продолжительности бизнес-процесса при заданной интенсивности выполнения действий

Видно, как именно два детерминированных значения, показанные на рис. 10 и соответствующие двум равновероятным вариантам маршрута, формируют два семейства разной длительности маршрутов.

### Выводы

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Сложная структура и случайный характер продолжительности отдельных действий бизнес-процессов компании не позволяют исследовать их методами сетевого анализа, вследствие этого анализ бизнес-процессов возможен только методами моделирования.

2. Описанный в статье метод моделирования графов бизнес-процессов позволяет анализировать бизнес-процессы различного характера и сложности.

3. В то же время представленный в примерах алгоритм может быть также модернизирован путем ввода агентов — действующих лиц, выполняющих отдельные операции бизнес-процесса. В этом случае на длительность всего процесса будет также оказывать влияние занятость агента, ответственного за множество отдельных действий бизнес-процессов, которые могут протекать параллельно.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайдукова Е. Нотация BPMN 2.0: ключевые элементы и описание [Электронный ресурс] / Е. Гайдукова. — Режим доступа: <https://www.comindware.com/ru/blog/> (дата обращения: 10.04.20).
2. Гайдукова Е. BPMN-процессы: основы моделирования и примеры бизнес-процессов [Электронный ресурс] / Е. Гайдукова. — Режим доступа: <https://www.comindware.com/ru/blog/> (дата обращения: 10.04.20).
3. Prades L. Defining a Methodology to Design and Implement Business Process Models in BPMN According to the Standard ANSI/ISA-95 in a Manufacturing Enterprise / L. Prades, F. Romero, A. Estruch, A. García-Domínguez, J. Serrano // *Procedia Engineering*. — 2013. — Vol. 63. — Pp. 115–122. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.283.
4. Dong J. X. Joint service capacity planning and dynamic container routing in shipping network with uncertain demands / J. X. Dong, C. Y. Lee, D. P. Song // *Transportation Research Part B: Methodological*. — 2015. — Vol. 78. — Pp. 404–421. DOI: 10.1016/j.trb.2015.05.005.

5. Gelareh S. Hub-and-spoke network design and fleet deployment for string planning of liner shipping / S. Gelareh, N. Maculan, P. Mahey, R. N. Monemi // *Applied Mathematical Modelling*.— 2013. — Vol. 37. — Is. 5. — Pp.3307–3321. DOI: 10.1016/j.apm.2012.07.017.
6. Msakni M. K. Analyzing different designs of liner shipping feeder networks: A case study / M. K. Msakni, K. Fagerholt, F. Meisel, E. Lindstad // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.— 2020. — Vol. 134. — Pp. 101839. DOI: 10.1016/j.tre.2020.101839.
7. Jiang L. Analysis of topology and routing strategy of container shipping network on “Maritime Silk Road” / L.Jiang, Y. Jia, C. Zhang, W. Wang, X. Feng // *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. — 2019. — Vol. 21. — Pp. 72–79. DOI: 10.1016/j.suscom.2018.11.002.
8. Yahia E. Supply chain business patterns definition for process interoperability / E. Yahia, M. Bigand, J. P. Bourey, E. Castelain // *IFAC Proceedings Volumes*. — 2009. — Vol. 42. — Is. 4. — Pp. 169–174. DOI: 10.3182/20090603-3-RU-2001.0359.
9. Appel S. Modeling and execution of event stream processing in business processes / S. Appel, P. Kleber, S. Frischbier, T. Freudenreich, A. Buchmann // *Information Systems*.— 2014. — Vol. 46. — Pp. 140–156. DOI: 10.1016/j.is.2014.04.002.
10. Bazhenova E. From BPMN process models to DMN decision models / E. Bazhenova, F. Zerbato, B. Oliboni, M. Weske // *Information Systems*. — 2019. — Vol. 83. — Pp. 69–88. DOI: 10.1016/j.is.2019.02.001.
11. Weilkiens T. Chapter 6: Modeling Business Processes Using BPMN / T. Weilkiens, C. Weiss, A. Grass, K. N. Duggen // *OCEB 2 Certification Guide. Business Process Management - Fundamental Level*.— Second Edition. — Morgan Kaufmann, 2017. — Pp. 93–147. DOI: 10.1016/B978-0-12-805352-2.00006-6.
12. Ferreira P. Process Invariants: An Approach to Model Expected Exceptions / P.Ferreira, R. Martinho, D. Domingos // *Procedia Technology*. — 2014. — Vol. 16. — Pp. 824–833. DOI: 10.1016/j.protcy.2014.10.032.
13. Ahoa E. Business processes and information systems in the Ghana cocoa supply chain: A survey study / E. Ahoa, A. Kassahun, B. Tekinerdogan // *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*.— 2020. — Vol. 92. — Pp. 100323. DOI: 10.1016/j.njas.2020.100323.
14. Куницын В. В. Разработка модели вероятностной оценки пропускной способности морского грузового фронта экспортного угольного терминала / В. В. Куницын, А. Л. Кузнецов, А. В. Шатилин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 17–34. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34.
15. Кузнецов А. Л. Морские контейнерные перевозки: монография / А. Л. Кузнецов [и др.]. — М.: Моркнига, 2019. — 412 с.

## REFERENCES

1. Gaydukova, E. Notatsiya BPMN 2.0: klyuchevye elementy i opisanie. Web. 10 Apr. 2020 <<https://www.comindware.com/ru/blog/>>.
2. Gaidukova, E. BPMN-protsessy: osnovny modelirovaniya i primery biznes-protsessov. Web. 10 Apr. 2020 <<https://www.comindware.com/ru/blog/>>.
3. Prades, L., F. Romero, A. Estruch, A. García-Dominguez, and J. Serrano. “Defining a Methodology to Design and Implement Business Process Models in BPMN According to the Standard ANSI/ISA-95 in a Manufacturing Enterprise.” *Procedia Engineering* 63(2013): 115–122. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.283.
4. Dong, Jing-Xin, Chung-Yee Lee, and Dong-Ping Song. “Joint service capacity planning and dynamic container routing in shipping network with uncertain demands.” *Transportation Research Part B: Methodological* 78 (2015): 404–421. DOI: 10.1016/j.trb.2015.05.005.
5. Gelareh, Shahin, Nelson Maculan, Philippe Mahey, and Rahimeh Neamatian Monemi. “Hub-and-spoke network design and fleet deployment for string planning of liner shipping.” *Applied Mathematical Modelling* 37.5 (2013): 3307–3321. DOI: 10.1016/j.apm.2012.07.017.
6. Msakni, Mohamed Kais, Kjetil Fagerholt, Frank Meisel, and Elizabeth Lindstad. “Analyzing different designs of liner shipping feeder networks: A case study.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 134 (2020): 101839. DOI: 10.1016/j.tre.2020.101839.
7. Jiang, Liupeng, Yue Jia, Cheng Zhang, Wei Wang, and Xuejun Feng. “Analysis of topology and routing strategy of container shipping network on “Maritime Silk Road”.” *Sustainable Computing: Informatics and Systems* 21 (2019): 72–79. DOI: 10.1016/j.suscom.2018.11.002.

8. Yahia, Esma, Michel Bigand, Jean-Pierre Bourey, and Emmanuel Castelain. "Supply chain business patterns definition for process interoperability." *IFAC Proceedings Volumes* 42.4 (2009): 169–174. DOI: 10.3182/20090603-3-RU-2001.0359.
9. Appel, Stefan, Pascal Kleber, Sebastian Frischbier, Tobias Freudenreich, and Alejandro Buchmann. "Modeling and execution of event stream processing in business processes." *Information Systems* 46 (2014): 140–156. DOI: 10.1016/j.is.2014.04.002.
10. Bazhenova, Ekaterina, Francesca Zerbato, Barbara Oliboni, and Mathias Weske. "From BPMN process models to DMN decision models." *Information Systems* 83 (2019): 69–88. DOI: 10.1016/j.is.2019.02.001.
11. Weillkiens, Tim, Christian Weiss, Andrea Grass, and Kim NenaDuggen. "Chapter 6: Modeling Business Processes Using BPMN." *OCEB 2 Certification Guide. Business Process Management - Fundamental Level*. Second Edition. Morgan Kaufmann, 2017. 93–147. DOI: 10.1016/B978-0-12-805352-2.00006-6.
12. Ferreira, Pedro, Ricardo Martinho, and Dulce Domingos. "Process invariants: an approach to model expected exceptions." *Procedia Technology* 16 (2014): 824–833. DOI: 10.1016/j.protcy.2014.10.032.
13. Ahoa, Emmanuel, Ayalew Kassahun, and Bedir Tekinerdogan. "Business processes and information systems in the Ghana cocoa supply chain: A survey study." *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 92 (2020): 100323. DOI: 10.1016/j.njas.2020.100323.
14. Kuptsov, Nikolay V., Aleksandr L. Kuznetsov, and Andrey V. Shatilin. "Development of a model for the probabilistic assessment of annual throughput of the marine loading complex of the export coal terminal." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.1 (2020): 17–34. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34.
15. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, O. V. Solyakov, and A. D. Semenov. *Morskie konteynery eperevozki: monografiya*. M.: MORKNIGA, 2019.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кузнецов Александр Львович** —  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [thunder1950@yandex.ru](mailto:thunder1950@yandex.ru), [kaf\\_pgt@gumrf.ru](mailto:kaf_pgt@gumrf.ru)

**Кириченко Александр Викторович** —  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [KirichenkoAV@gumrf.ru](mailto:KirichenkoAV@gumrf.ru)

**Семенов Антон Денисович** —  
диспетчер  
ООО «Логистический парк «Янино»  
Российская Федерация, Ленинградская область,  
Всеволожский район, д. Янино-1,  
Торгово-логистическая зона «Янино-1», № 1  
e-mail: [asemyonov054@gmail.com](mailto:asemyonov054@gmail.com)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Kuznetsov, Aleksandr L.** —  
Dr. of Technical Sciences, professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [thunder1950@yandex.ru](mailto:thunder1950@yandex.ru), [kaf\\_pgt@gumrf.ru](mailto:kaf_pgt@gumrf.ru)

**Kirichenko, Aleksandr V.** —  
Dr. of Technical Sciences, professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [KirichenkoAV@gumrf.ru](mailto:KirichenkoAV@gumrf.ru)

**Semenov, Anton D.** —  
Dispatcher  
Yanino Logistics Park LLC  
Vsevolozhsky District, Yanino-1 village,  
Trade and logistics zone Yanino-1, No. 1,  
Leningrad Region, Russian Federation  
e-mail: [asemyonov054@gmail.com](mailto:asemyonov054@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 7 мая 2020 г.  
Received: May 7, 2020.