

КОНФИГУРИРОВАНИЕ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ, ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ¹¹

И.О. Бондарева¹, А.А. Ханова², Ю.А. Ханова³

¹*Астраханский государственный технический университет, Россия, Астрахань, orange8@mail.ru*

²*Астраханский государственный технический университет, Россия, Астрахань, akhanova@mail.ru*

³*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина), Россия, Санкт-Петербург, yulya_khanova@mail.ru*

Аннотация. Представлено концептуальное решение, позволяющее осуществить конструирование конфигурации сложной системы на примере грузового порта и анализ риска. Представлено формальное описание графов конфигурации сети Петри. Показано последовательное построение сценариев риска, Л-моделей и В-моделей для каждой стратегической цели. Решение базируется на формальном аппарате целеполагания, логическом управлении последовательностью операций, выборе и выдаче управленческих решений, формализации сценариев рисков и их интерпретации по результатам имитационного моделирования. Имитационная модель позволит получить обоснованную количественную оценку риска недостижения стратегической цели для принятия управленческих решений.

Ключевые слова: сети Петри, конфигурация, сложная система, логико-вероятностные модели, имитационные модели

CONFIGURATION OF SYSTEMS BASED ON PETRI NETWORKS, LOGIC-PROBABILISTIC AND SIMULATION MODELS

I.O. Bondareva¹, A.A. Khanova², Yu.A. Khanova³

¹*Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan, orange8@mail.ru*

²*Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan, akhanova@mail.ru*

³*Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", Russia, St. Petersburg, yulya_khanova@mail.ru*

Abstract: A conceptual solution is presented that allows to design a complex system configuration on the example of a cargo port and risk analysis. A formal description of the Petri network configuration graphs is provided. It shows the consistent construction of risk scenarios, logic-probabilistic models for each strategic objective. The solution is based on a formal targeting apparatus, logical control of the sequence of operations, selection and issuance of management decisions, formalization of risk scenarios and their interpretation based on the results of simulation. The simulation model will provide a sound quantification of the risk of not achieving a strategic goal for management decisions.

Keywords: Petri networks, configuration, complex system, logic-probabilistic models, simulation models

Перспективным направлением управления в социальных и экономических системах, в том числе и крупных предприятиях транспортной логистики, является ориентация на построение конфигураций сложных систем (СС) на основе анализа и оценки рисков событий и ситуаций, возникающих в процессе функционирования данных предприятий с целью предотвращения нежелательных событий с помощью предсказания вероятности их наступления.

Понятие конфигурации сложной системы, исследованное Минцбергом Г. и его коллегами [1], подразумевает устойчивое комплексное состояние, соответствующее периоду ее стабильного развития и характеризуемое совокупностью различных факторов: стратегией развития и соответствующими показателями, оказываемыми услугами, производимыми продуктами, потребляемыми ресурсами, организационной структурой, применяемыми технологиями, логистическими схемами, методами и моделями, кадровым составом, и т.д. В рамках понятия конфигурации

¹¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 20-010-00465).

функционирование СС представляет циклический процесс, который состоит в повторении внутриконфигурационных циклов (IC-циклов). IC-цикл имеет временную протяженность, например, 1 год 6 месяцев и т.д., определяемую стратегией развития SG , и состоит из целенаправленных действий – операций $p_i, i = 1, \dots, nr$. Для каждой конфигурации (каждого повторения IC-цикла) формируется система показателей, с соответствующей иерархией целей $d_i, i = 15, \dots, md$ ($md = 25$ в примере на рис. 2) с учетом риска их недостижения. Выполнение операций сопровождается потреблением ресурсов $r_i, i = 1, \dots, nr$ (сырьевых, временных, финансовых, трудовых и т.д.) и вычислением показателей деятельности СС $d_i, i = 1, \dots, nd$ ($nd = 13$ в примере на рис. 2). Реализация IC-циклов зависит и от воздействия внешней среды – экзогенных факторов $f_i, i = 1, \dots, nf$. В случае отклонения показателей от плановых значений в IC-цикле формируется множество управленческих решений $u_i, i = 1, \dots, ni$ для улучшения ситуации. Под ситуацией будем понимать совокупность значений показателей и некоторых произошедших событий.

Одним из подходов к построению конфигурации сложных систем (СС) является построение моделей на основе сетей Петри (СП) [2, 3]. За счет применения логико-вероятностного (ЛВ) подхода расширяются возможности анализа параметров, влияющих на функционирование системы, а также риска недостижения поставленных целей [4]. Широко применяются имитационные модели, позволяющие связать текущее состояние объекта и сценарии управленческих решений с будущим состоянием объекта [5]. Статистические данные имитационных моделей формируются в виде наборов показателей. В современном менеджменте имеется целый ряд систем показателей для организации эффективного управления сложными системами [6]. В исследовании компании Bain & Company «Management Tools & Trends 2017» одной из наиболее востребованной, со стабильно высоким показателем удовлетворенности от использования в организациях является сбалансированная система показателей (ССП), представленная в работах Каплана Р. и Нортон Д. [7]. Рассмотрим интеграцию представленных подходов для построения конфигурации СС (рис. 1). В качестве предметной области СС выберем предприятие транспортной логистики – грузовой порт (ГП).

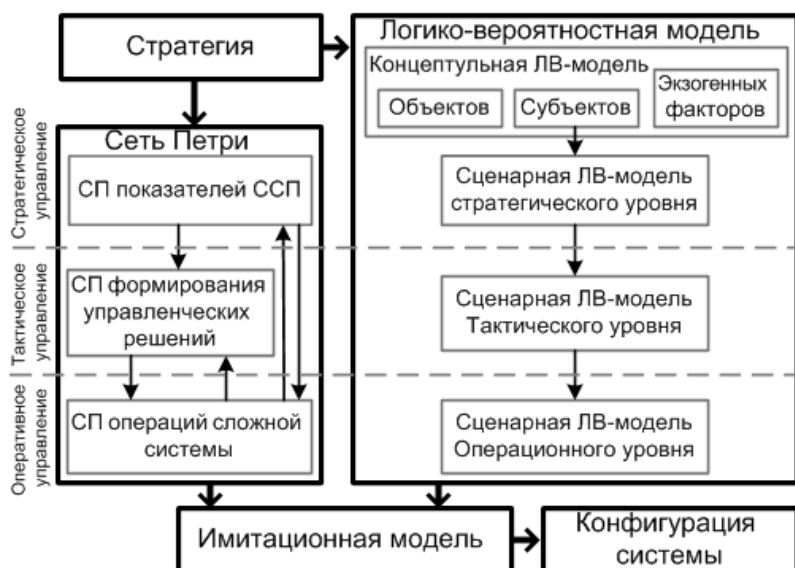


Рис. 1. Структурная схема конфигурирования СС на основе СП, ЛВ и имитационной модели

Модель конфигурации СС на основе СП (рис. 1) характеризуется четырьмя взаимодействующими структурами (рис. 2):

1. «вертикальной» структурой ССП, включающей целеполагание на основе «древовидных» ациклических СП (граф целей, рис. 2а);
2. «горизонтальной» структурой ССП, учитывающей взаимовлияние отклонений от нормы показателей на основе «взвешенных» СП (граф показателей, рис. 2б);
3. процесса получения информации о параметрах сложной системы, анализа данных и инициализации управленческого решения – с учетом параллельности и асинхронности принимаемых решений, а также их вероятностного характера на основе классической СП (граф операций, рис. 2в);
4. процесса управленческого реагирования на вероятные отклонения значений показателей ССП от нормативных значений – с учетом асинхронности параллельных процессов на основе классической СП (граф управленческих решений, рис. 2г).

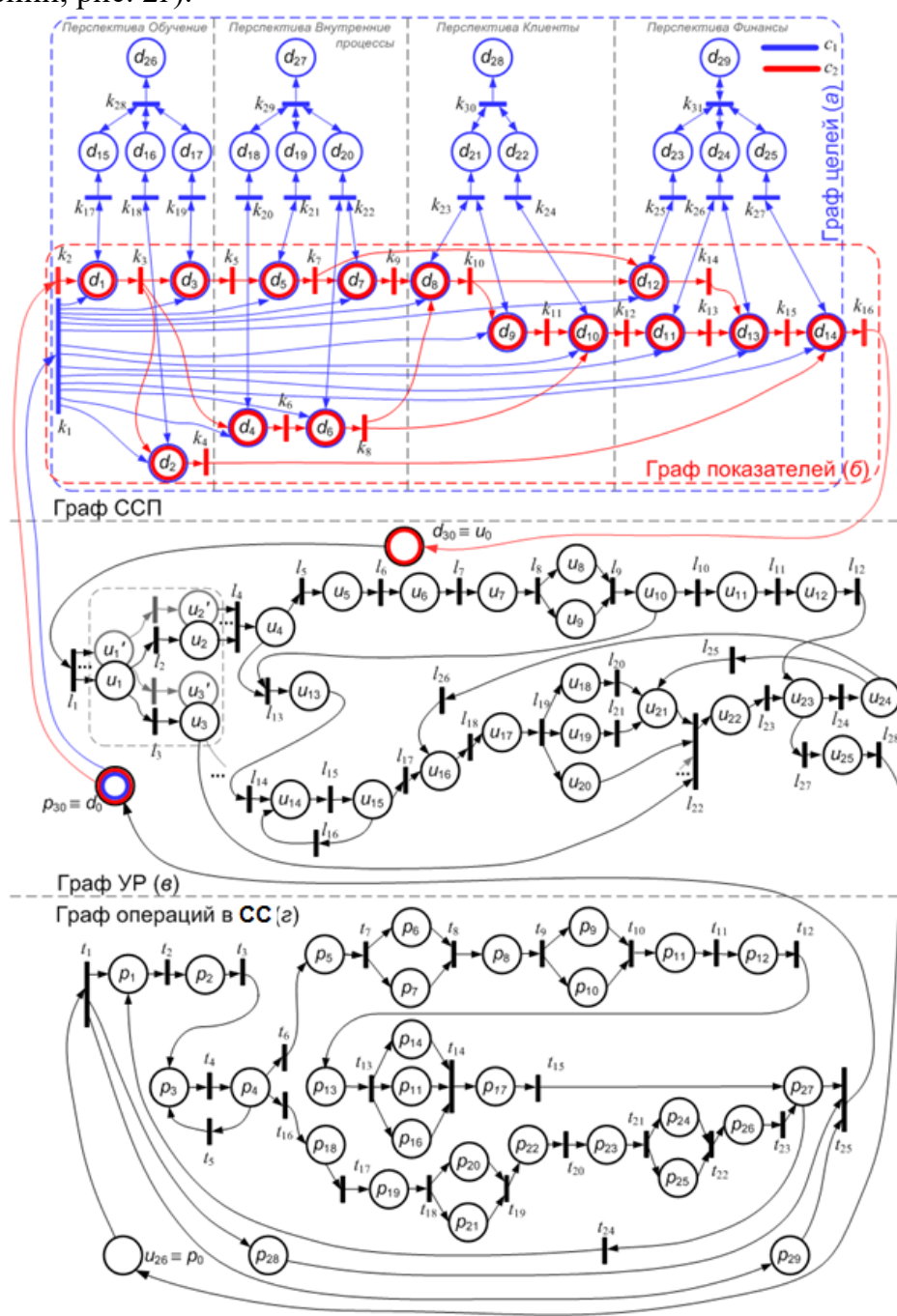


Рис. 2. Модель конфигурации СС на основе СП

Древовидные ациклические СП целей ССП, а также «взвешенные» СП логически объединены в единую сеть – раскрашенную СП [3]. Координатором работы модели конфигурации СС на основе СП является граф операций. При срабатывании перехода t_{25} графа операций (рис. 2) в начальные пустые позиции графа целей ССП и в определённые позиции графа показателей ССП вносятся маркеры. Для внесенных маркеров устанавливаются начальные приращения. В момент, непосредственно предшествующий срабатыванию t_{25} , модель конфигурации СС находилась в равновесии, и приращения (маркировки позиций графа показателей ССП) нулевые. В результате в графах целей и показателей (граф ССП, рис. 2) инициализируется переходный процесс, в ходе которого происходит перемещение маркеров. В графе показателей ССП во время выполнения этого процесса изменяются величины и, возможно, знаки показателей.

По окончании переходного процесса устанавливается равновесие: в графе целей ССП из-за его ацикличности, в графе показателей ССП – при полученных значениях целей и показателей, а также с учётом внешних воздействий вычисляются разрешающие условия, взвешивающие переходы графа операций. При срабатывании перехода k_{16} запускается СП, моделирующая процессы оценки и распознавания текущей ситуации, формирования, ранжирования, классификации, параметризации и принятия управленческих решений по показателям и целям ССП (граф управленческих решений, рис. 2). Сформированное множество решений передается в операционную сеть и внутриконфигурационный цикл моделирования повторяется (рис. 2). Управление переходами операционной сети t_i , $i = 1, \dots, nt$ осуществляется разрешающими условиями, соотнесенными переходам.

Гибридная ЛВ-модель риска (рис. 1) объединяет две концептуальные ЛВ-модели и одну сценарную на трех уровнях управления (стратегическом, тактическом и операционном) (рис. 3). В качестве концептуальных составляющих выделены субъекты S_{ccp} и экзогенные случайные факторы EF_{ccp} , объекты-цели G_{ccp} представлены сценарной ЛВ-моделью. Неудача достижения стратегии SG зависит от субъектов $S_{ccp} = (S_1, S_2, \dots, S_5)$ и объектов – целей $G_{ccp} = (GN_1, GN_2, \dots, GN_4)$, детализирующих основную цель, выбранную в качестве сложной проблемы. Субъекты S_{ccp} определяют, кто решает поставленную проблему, а объекты – какие более мелкие цели связаны с проблемой SG . С точки зрения осуществления управленческой функции СС и на основе наличия той или иной степени вовлеченности, а также заинтересованности в решении обозначенной проблемы выделим следующие субъекты (на примере ГП): S_1 – руководство порта, S_2 – клиенты порта, S_3 – органы местного самоуправления, S_4 – население, не являющееся клиентами порта, S_5 – сотрудники порта. и объектов. Событие неуспеха субъектов S_i будем представлять, как сложные события в виде Л-сложения событий «отсутствия желаний» W_i и «отсутствия возможностей» O_i , имеющих вероятности.

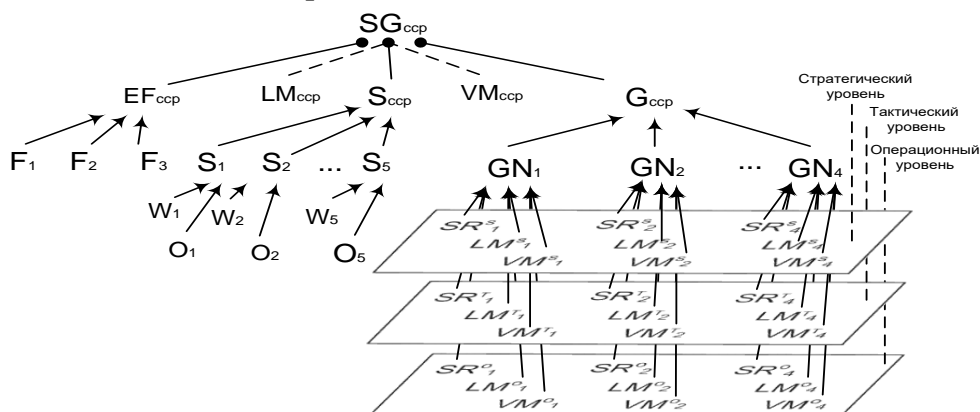


Рис. 3. Многоуровневая каскадная гибридная ЛВ-модель риска недостижения стратегической цели СС

Целям $G_{ccp} = (GN_1, GN_2, \dots, GN_4)$ соответствуют ЛВ-модели риска. Объектами-целями являются компоненты G_{ccp} : GN_1 – сократить зависимости от внешних займов, GN_2 – повысить эффективность использования ресурсов, GN_3 – повысить уровень социальной ответственности бизнеса, GN_4 – повысить доходность и платежеспособность. Согласно концепции применения гибридных ЛВ-моделей риска, для каждой i -ой цели GN_i необходимо последовательно построить сценарий риска SR_i , Л-модель LM_i и В-модель VM_i .

Исходя из возможности имитационного моделирования, учитывать факторы стохастического характера, ЛВ-модель риска недостижения СС стратегической цели дополнена экзогенными факторами влияния EF_{ccp} . Для функционирования такой СС как ГП это, в первую очередь, метеорологические факторы: ледостав, скорость ветра выше 15 м/с и наличие тумана. Обозначим их соответствующими логическими переменными F_1, F_2 и F_3 . Можно дополнить список факторов, выявив не только помехи функционированию порта, связанные с погодными условиями, но и с взаимодействием с контрагентами и т.п., предложить более разветвленную классификацию, однако для представления механизма взаимодействия логико-вероятностного и имитационного моделирования названы только эти три фактора.

Л-модель риска приостановки функционирования СС в связи с наличием внешних случайных факторов:

$$EF_{ccp} = F_1 \vee F_2 \vee F_3.$$

В-модель риска приостановки функционирования грузового порта в связи с наличием внешних случайных факторов:

$$Pr\{EF_{ccp} = 0\} = Pr\{F_1 = 0\} + Pr\{F_2 = 0\}(1 - Pr\{F_1 = 0\}) + \dots + Pr\{F_3 = 0\} \times (1 - Pr\{F_1 = 0\})(1 - Pr\{F_2 = 0\}).$$

При введении в модель концептуальной ЛВ-модели для внешних случайных факторов необходимо скорректировать логическую и вероятностную модели риска недостижения стратегической цели грузового порта:

$$SG_{ccp} = S_{ccp} \wedge G_{ccp} \wedge EF_{ccp};$$

$$Pr\{SG_{ccp} = 0\} = Pr\{S_{ccp} = 0\} + Pr\{G_{ccp} = 0\}(1 - Pr\{S_{ccp} = 0\}) + \dots + Pr\{EF_{ccp} = 0\} \times (1 - Pr\{S_{ccp} = 0\})(1 - Pr\{G_{ccp} = 0\}).$$

Имитационная модель в схеме конфигурирования СС (рис. 1) определяет ее специфику в рамках той или иной предметной области. Обобщенная структура имитационной модели СС на примере ГП представлена на рис. 4.

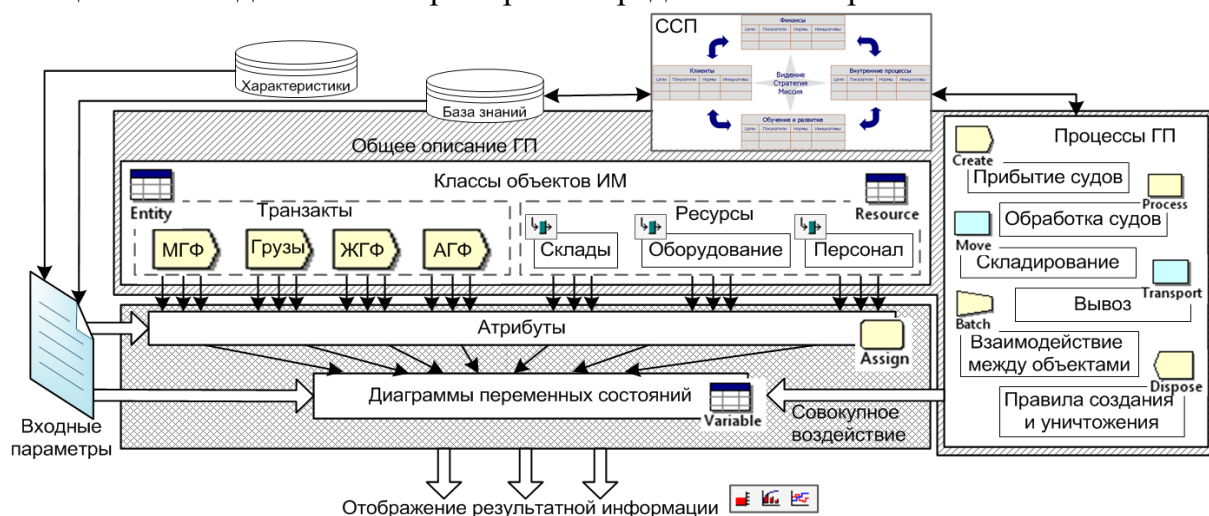


Рис. 4. Обобщенная структура ИМ СС (на примере ГП) в терминах SIMAN

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования рассматриваемой системы во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы.

Моделируемая система представляет процесс обслуживания потока заявок (транзактов): судов (МГФ – морской грузовой фронт), тепловозов (ЖГФ – железнодорожный грузовой фронт), автомобилей (автомобильный грузовой фронт) с грузами. При этом характерным для него является случайное появление заявок на обслуживание, а также завершение процессов погрузки/разгрузки кранами и погрузчиками в случайные моменты времени.

Разработана структура системы конфигурирования СС на основе совокупности моделей:

- Модель конфигурации СС на основе СП позволяет провести структуризацию, формализацию и алгоритмизацию процесса принятия управленческих решений в сложных системах на основе ССП.
- ЛВ-модель представляет, с одной стороны, набор параметров, обязательных к включению в имитационную модель при ее разработке, позволяет выявить причинно-следственные связи наступления определенных событий с целью реализации и корректировки стратегии проведения экспериментов с моделью. ЛВ-модель необходима для выявления благоприятных сценариев поведения СС в заданных условиях.
- Имитационная модель представляет инструмент проверки структуры и алгоритмов конфигурации системы, а также численной оценки вероятности наступления рискованных событий на основе проведения экспериментов в рамках заданных внутриконтинуальных циклов (IC-циклов).

Библиографический список

1. Минцберг Г., Альстрэнд Б., Лэмпел Дж. Школы стратегий / Пер. с англ. под ред. Ю.Н. Каптуревского. – СПб: Издательство «Питер». 2000. 336 с.
2. Юдицкий С.А. Графодинамическое моделирование организационно-технических систем на основе триадных агентов // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 258-281.
3. Зубова Т. Н., Мельников Б.Ф. Использование сетей Петри для моделирования процесса принятия управленческих решений // Вектор науки ТГУ. 2011. № 3(17). С. 33-37.
4. Козлова, В.И., Крюкова Е.А., Соложенцев Е.Д. Логико-вероятностные модели риска неуспеха социально-экономических систем // Актуальные проблемы экономики и управления. 2016. №1(9). С. 103-116.
5. Ханова А.А., Григорьева И. О. Оценка качества логистического обслуживания грузового порта с использованием имитационного моделирования // Датчики и системы. 2009. № 5. С. 11-15.
6. Ханова А.А. Структурно-функциональная модель сбалансированной системы показателей для принятия управленческих решений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 1. С. 200-208.
7. Роберт С. Каплан, Дейвид П. Нортон. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2006. 320 с.