

УДК 51-7

Н. В. Кошуняева

ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, САФУ имени М.В. Ломоносова, Архангельск,
e-mail: n.koshunyaeva@narfu.ru

МОДЕЛЬ СОЛЕ-МАНРУБИА С НЕЧЁТКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ

Ключевые слова: логистическая система, S-образная модель, модель Соле-Манрубия, нечеткие числа, нечеткие множества, жизненный цикл логистической системы, эволюционная модель.

В статье проанализированы этапы жизненного цикла логистических систем, определены основные принципы популяционной экологии, как одной из современных концепций формирования логистических организаций. Для исследования системы, представляющей собой совокупность логистических компаний, разработана модификация эволюционной модели Соле-Манрубия межвидового взаимодействия с кооперативной матрицей, динамически изменяющейся в течение модельного времени. Указанная система является сложной, стохастической. С целью учета указанных факторов модели, предложено использование нечетких множеств, определяющих нечеткие отношения с их функциями принадлежности для имитационного моделирования динамики системы. При формировании вектора оценки экономического состояния системы, состоящего из элементов, представляющих собой совокупность логистических компаний, предложено использовать нечеткие числа с кусочно-заданной функцией принадлежности. Была построена имитационная модель жизненного цикла совокупности логистических систем, которая определяет количество продолжающих функционирование компаний, а также количество прекративших свою деятельность организаций в каждую единицу модельного времени. В работе, с использованием языка программирования Python, производился эксперимент для анализа эволюции системы, деятельность которой определяется только совокупностью естественных факторов, а также эксперимент с наложением дополнительных внешних условий, производится анализ полученных результатов.

N. V. Koshunyaeva

FECIAR UrB RAS, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, e-mail: n.koshunyaeva@narfu.ru

SALE-MANRUBIA MODEL WITH FUZZY CHARACTERISTICS FOR LOGISTICS COMPANIES

Keywords: logistics system, S-shaped model, Sale-Manrubia model, fuzzy numbers, fuzzy sets, logistics system life cycle, evolutionary model.

The article analyzes the stages of the life cycle of logistics systems, defines the basic principles of population ecology as one of the modern concepts of the formation of logistics organizations. To study the system, which is a set of logistics companies, a modification of the evolutionary model of the Sale-Manrubia of interspecific interaction with a cooperative matrix, dynamically changing during the model time, has been developed. This system is complex, stochastic. To consider these factors of the model, the use of fuzzy sets defining fuzzy relationships with their membership functions for simulation modeling of system dynamics is proposed. When forming a vector for assessing the economic state of a system consisting of elements representing a set of logistics companies, it is proposed to use fuzzy numbers with a piecewise defined membership function. A simulation model of the life cycle of a set of logistics systems was built, which determines the number of companies that continue to operate, as well as the number of organizations that have ceased their activities in each unit of the model time. In the work, using the Python programming language, an experiment was carried out to analyze the evolution of a system whose activity is determined only by a set of natural factors, as well as an experiment with the imposition of additional external conditions, the analysis of the results obtained is carried out.

Введение

Логистика является достаточно молодой наукой, которая имеет глубокие исторические истоки. Считается, что сам термин имеет древнегреческое происхождение и обозначал «счетное искусство». В настоящее

время вопросами, связанными с логистическими системами, занимаются многие отечественные и зарубежные ученые. Так, например, в работе [10] В.И. Хабаровым, А.А. Теселкиным, К.П. Косолаповым описано планирование экспериментов для оценки

матрицы транспортных корреспонденций; оптимизация логистических процессов в Арктической зоне предложена в монографии наших коллег [6]; Елсуковым П.Ю. и Цветковым В.Я. в [3] предложена аналитическая модель, описывающая жизненный цикл сложной системы с использованием логистического уравнения; Коробовым В.Б., Тутьгиным А.Г., Чижовой Л.А. разработан подход, основанный на последовательном принятии решений, для минимизации ошибки выбора наиболее экономически эффективной и экологически безопасной альтернативы при принятии стратегических решений проектирования транспортной инфраструктуры в Арктике [5, 7]; ими же описаны ограничения на стандартные модели морских логистических операций в Арктике [8].

Основной целью логистики является получение максимальной эффективности при минимальных затратах. Существует множество видов логистики: закупочная, транспортная, распределительная и так далее. В соответствии с этим определяются типы логистических систем, каждая из которых обладает своим жизненным циклом.

Этапы жизненного цикла логистической системы зависят от объемов продажи товаров или объемов оказания услуг, а также от прибыли компании. Обычно жизненный цикл логистической системы описывают S-образной моделью, включающей в себя два эволюционных цикла. Данный вид модели был впервые предложен П.-Ф. Ферхюльстом в конце 19 века, а затем Р.Перлем и Л. Ридом в 20-х годах 20-го века. Первый цикл по данной модели представляет собой зарождение и развитие системы, а также ее зрелость. На этапе создания организации можно выделить такие характеристики управления, как постановка нечетких целей, а также наличие высоких творческих возможностей. Рост системы связан с формализацией правил и высокими обязательствами, которые также свойственны и на этапе зрелости компании. Помимо этого, этап зрелости характеризуется стабильной структурой и особым упором на эффективность. Второй же цикл начинается с момента спада прибыльности компании и заканчивается ликвидацией логистической системы. При этом компания характеризуется высокой текучестью кадров и возрастающими внутренними и внешними конфликтами. Оба этих цикла характеризуются количественными и качественными параметрами системы

при неизменных принципах построения логистической системы. Деятельность таких предприятий зависит от множества экономических и естественных факторов. На успешность развития данных организаций влияют климатические условия, инфраструктурное обеспечение, конкуренция и множество других факторов.

Одной из современных концепций формирования логистических организаций является концепция популяционной экологии, принципами которой являются следующие утверждения:

1. В соответствии с направлением и содержанием экономической деятельности можно выделить популяции логистических систем одного типа.

2. Существует предельная величина емкости ниши, то есть сегмента рынка.

3. Логистические организации «рождаются» и «умирают» по законам популяции.

Одним из современных методов исследования популяционных моделей является модель Соле-Манрубиа [1]. Данная модель основана на четкой логике. Однако, следует отметить, что в силу высокой субъективности вопросов, связанных с экономическим состоянием каждой из систем, а также взаимодействия систем между собой, а также ограничений области действий в рамках описанной модели, применение нечетких отношений придаст большую реалистичность, что позволит получить наиболее адекватную модель.

Целью данного исследования является применение модели Соле-Манрубиа к совокупности логистических систем и разработка модификации эволюционной модели для учета стохастического характера формирования вектора состояния системы в каждый момент времени. Для достижения поставленной цели используется теория нечетких множеств. При этом планируется построить имитационную модель жизненного цикла совокупности логистических систем, которая определяет количество продолжающих функционирование компаний, а также количество прекративших свою деятельность организаций в каждую единицу модельного времени.

Материалы и методы решения

Для оценки экономического состояния логистической системы оценивается интегральный показатель логистического менеджмента [2]. Совокупность логистических

компания представляет собой социо-экономическую систему для моделирования которой удобнее использовать мультиагентное моделирование, представив компанию как набор автономных, неоднородных агентов, обладающих определенной информацией и действующих в условиях неопределенности, расположенных в определенной «среде обитания» [7]. При этом рассматриваются различные параметры, представляющие собой разнородную информацию, полученную от экспертов и представленную в виде логистических переменных, а также различные количественные показатели, определяемые в ходе оперативной деятельности предприятия. Данные показатели являются разнородными не только по формату, но и по времени их получения. Таким образом, для того чтобы обобщить всю эту информацию, и использовать в оценке состояния логистической системы удобнее использовать нечеткие числа с определенными функциями принадлежности.

Говоря о нечетких числах, предполагают работу с нечеткими множествами. Особенности работы с нечеткими характеристиками представлены в работе [11]. Данный термин был определен американским ученым Л.Заде. При этом, понятие классического множества, где однозначно определяется принадлежность элемента множеству, расширяется. Если элемент принадлежит классическому множеству, то функция принадлежности будет принимать значение 1, а если не принадлежит, то 0. В нечетком множестве, значение функции принадлежности принимает более двух значений. Таким образом, указанная функция может заполнять весь отрезок $[0,1]$.

Определение. Нечетким множеством A называют пару $(U, \mu_A(u))$, где U – универсальное множество, $\mu_A(u)$ – функция, определенная на множестве U и принимающая значения на отрезке $[0,1]$. Функцию $\mu_A(u)$ называют функцией принадлежности нечеткого множества A [4].

Если универсальное множество, на котором определена функция принадлежности нечеткого множества конечно или счетно, то

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i, u_i \in U$$

Определение. Нечетким числом X называют нечеткое подмножество A множества действительных чисел R .

Множество R является универсальным множеством, его промежутки $[a_1, a_2]$ – носителем множества A , на R задана функция принадлежности нечеткого числа $\mu_A(x) \rightarrow [0,1], x \in R$, принимающая на (a_1, a_2) положительные значения, а в остальных точках числовой оси равная нулю.

Представим логистические организации как некоторую систему, состоящую из n видов компаний. Экономическое состояние каждой компании представлено нечетким числом x_i с функцией принадлежности нечеткого множества A и помеченным индексом $i = 1, n, \mu_A(x_i): X \rightarrow [0,1]$, где X – универсальное множество. Нечеткое множество A можно определить как «выживаемость» предприятия. Главной характеристикой состояния системы в модели Соле-Манрубия является n -мерный вектор Ω :

$$\Omega = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$$

Если $x_i = 0$, то i -я компания прекратила свою деятельность, если $x_i = 1$, то данная компания находится в хорошей ситуации с экономической точки зрения.

Предположим, что в начальный момент времени все рассматриваемые компании находятся в хорошей экономической ситуации, то есть,

$$\Omega^0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}$$

Кооперативные взаимодействия между предприятиями фиксируются матрицей взаимодействия M^k , размерности $(n \times n)$, которая в нулевой момент времени совпадает с единичной матрицей. Каждый элемент матрицы m_{ij} обозначает влияние организации j на организацию i .

Если $m_{ij} > 0$, а $m_{ji} < 0$, то i -я компания отрицательно влияет на j -ю компанию.

Если $m_{ij} > 0$, $m_{ji} > 0$, то оба предприятия сотрудничают.

Если $m_{ij} < 0$, $m_{ji} < 0$, то оба предприятия конкурируют.

Динамика системы заключается в изменении состояний системы, то есть в опре-

делении состояния системы в момент времени $(t+1)$, зная параметры состояния системы в момент времени t . В конце каждого периода k состояние системы фиксируется и обозначается как Ω^k . Интерес представляет динамика вектора Ω^k , а именно количество ненулевых элементов данного вектора в каждый момент времени. Данное изменение можно представить в следующих шагах:

1. В период времени k матрица M^k получается из M^{k-1} , путем замены в каждой строке этой матрицы случайно выбранного одного элемента, не лежащего на диагонали, (независимо от его предыдущей величины и знака) на новое случайное значение a_{ij} случайной величины, равномерно распределенной в отрезке $[-1, 1]$. Так, например, для первого периода времени матрица M^1 может принять вид:

$$M^1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & a_{1,j_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & a_{2,j_2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & a_{n,j_n} & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

2. Новое состояние каждого вида определяется следующим образом: полученная матрица умножается справа на единичный вектор размерности n в результате чего по-

$$\text{лучается вектор } \omega^k, \omega^k = M^k \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Для формирования вектора Ω^{k+1} будем использовать кусочно-линейную функцию принадлежности μ_j , где

$$\mu(\omega_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } \omega_j \leq 0, \\ \omega_j, & \text{если } 0 < \omega_j < 1, \\ 1, & \text{если } \omega_j \geq 1. \end{cases}$$

$j = 1, \dots, n$

Тогда получаем вектор Ω^{k+1} :

$$\Omega^{k+1} = \begin{pmatrix} \mu(\omega_1) \\ \mu(\omega_2) \\ \dots \\ \mu(\omega_n) \end{pmatrix}$$

3. Все ниши, оставленные свободными из-за прекращения деятельности какой-либо логистической компании, заполняются ко-

мпаниями одного из случайно выбранных компаний, продолживших свою деятельность. Для этого случайным равновероятным образом выбирается одна из функционирующих компаний j и для всех компаний i , которые в данный период прекратили деятельность, в матрице M^k , осуществляется замена:

$$M_{iq}^k = M_{jq}^k + \delta_{iq}$$

$$M_{qi}^k = M_{qj}^k + \delta_{qi}$$

$$q = 1, \dots, n$$

где δ_{iq} – случайные равномерно распределенные величины в пределах $(-0,01; 0,01)$.

Таким образом, на начальных этапах жизнедеятельности системы, она подвергается эволюции. Матрица взаимодействия всё менее становится похожей на единичную матрицу, а все большей и большей степени отображает реальное взаимодействие между логистическими компаниями в каждый определенный момент времени.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе представленного алгоритма были выполнены численные эксперименты с использованием объектно-ориентированного языка Python. Выбор средства программирования обосновывается тем, что Python является одним из самых удобных языков, предназначенных для работы с большим количеством данных. При максимальном количестве рассматриваемых логистических компаний 100 и количестве периодов 100 в результате проведения эксперимента (рис. 1) было выявлено число компаний, которые прекратят свою деятельность в определенный период времени, а также те, которые продолжают или вновь начнут свое функционирование в течение всего модельного времени.

Таким образом, было выявлено, что система становится относительно устойчивой примерно на сороковом шаге. При этом существуют периоды, где количество логистических компаний, прекративших свою деятельность, увеличивается. Особенно это наблюдается в начальные периоды времени. В первой четверти временного промежутка система находится в наиболее неустойчивом состоянии. Прекращение деятельности компаний объясняется совокупностью естественных негативных факторов, поскольку дополнительных условий на модель не накладывалось.

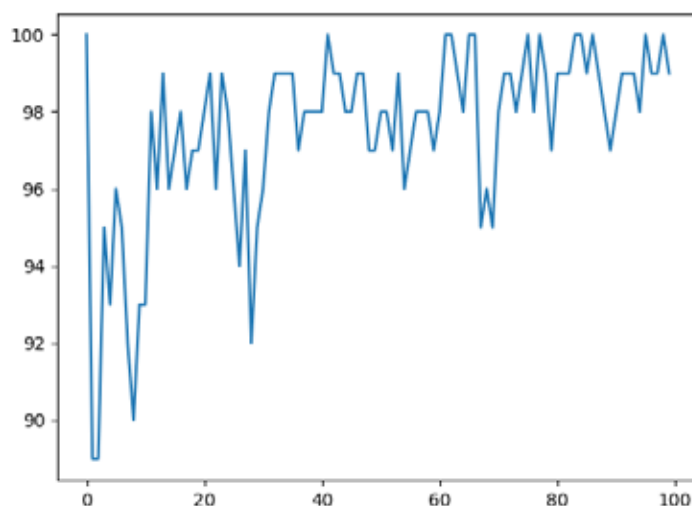


Рис. 1. Динамика изменения численности логистических компаний

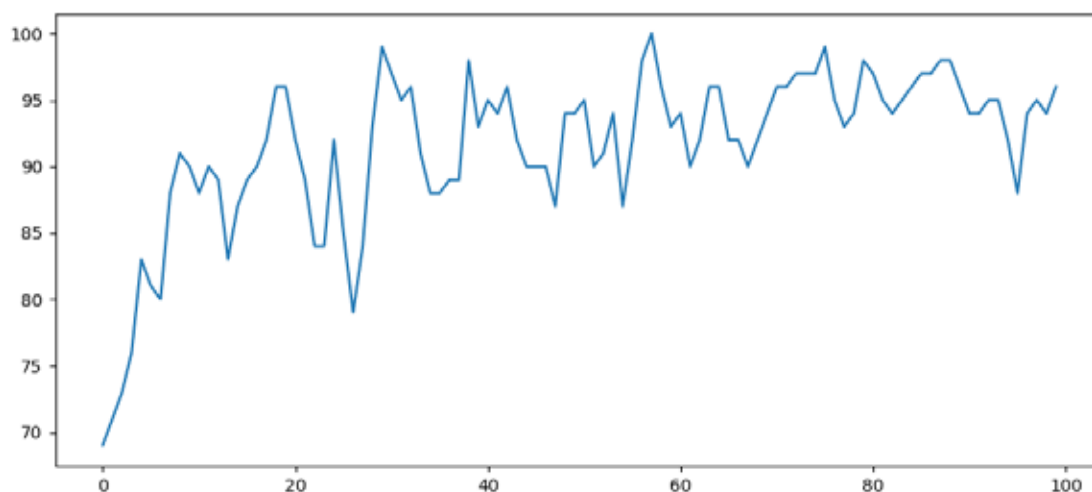


Рис. 2. Динамика изменения численности логистических компаний при наложении дополнительных негативных факторов

Если в модель ввести некоторое допущение, указав, дополнительные факторы (такие как ухудшение экономического состояния региона, сокращение численности квалифицированного персонала, появление новых контрагентов, обладающих высокотехнологическим оборудованием, с которыми сложно конкурировать традиционным компаниям и другие факторы), влияющие на поведение системы, то динамика изменения численности логистических компаний изменится. Так, например, будем на каждом шаге для матрицы взаимодействия M изменять случайно выбранный элемент, не стоящий на диагонали, на случайное число

не из диапазона от -1 до 1, а из диапазона от -2 до 1. В таком случае количество компаний, прекративших свою деятельность, будет увеличиваться, однако, как видно на рисунке 2, система также окажется достаточно устойчивой к изменениям.

Заключение

Модель Соле-Манрубия является современным средством описания эволюционной динамики. Построенная модификация модели учитывает стохастический характер происходящих процессов. Её использование удобно не только для анализа биологических систем, но также для

анализа жизненного цикла сложных логистических систем. Учитывая нечеткие характеристики в формировании вектора, описывающего состояние системы в каждый момент времени, можно получить более достоверную картину, показывающую динамику системы.

В дальнейшем модель можно усовершенствовать, заменив в матрице взаимодействия случайные значения на случайные числа с треугольной функцией принадлежности, значения которой определяются интегральным показателем экономического состояния организации.

Работа выполнена в рамках темы ФНИР «Трансформация социокультурного пространства регионов Арктической зоны Российской Федерации в современных условиях» № государственной регистрации 122012100405-4.

Библиографический список

1. Белоусов Ф.А. Модели социально-экономических и демографических процессов сообществ с протейшей социальной структурой: дис. ... канд. экономич. наук. Москва, 2019. 112 с.
2. Гейз Г.М. Применение нечеткой модели для определения оптимального сочетания ключевых параметров логистической системы промышленного предприятия // Современные исследования социальных проблем. 2014. № 10(42). С. 65-75.
3. Елсуков П.Ю., Цветков В.Я. Логистическая модель жизненного цикла сложной системы // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 1. С. 71-78.
4. Конышева Л.К., Назаров Д.М. Основы теории нечетких множеств: учебное пособие. Санкт-Петербург: Питер, 2011. 192 с.
5. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г., Чижова Л.А. Последовательность принятия стратегических решений в задачах проектирования транспортной инфраструктуры в Арктике // Проблемы региональной экологии. 2018. № 5. С. 70-77. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-15070.
6. Тутыгин А.Г., Антипов Е.О., Коробов В.Б. Проблемы моделирования логистических операций в Арктической зоне Российской Федерации: монография / Рос. акад. наук, М-во науки и высш. образования РФ, Федер. исслед. центр комплекс. изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова РАН. Архангельск: КИРА, 2020. 244 с.
7. Тутыгин А.Г., Коробов В.Б., Чижова Л.А. Моделирование сценариев развития северных территорий: методологический и информационный аспекты // Экономические науки. 2019. № 179. С. 114-122. DOI: 10.14451/1.179.114.
8. Тутыгин А.Г., Коробов В.Б., Чижова Л.А., Антипов Е.О. Ограничения на стандартные модели морских логистических операций в Арктике // Управление экономическими системами. 2019. № 3 (121). С. 1-18.
9. Ухоботов В.И., Стабулит И.С., Кудрявцев К.Н. Сравнение нечетких чисел треугольного вида // Вестник Удмуртского университета. 2019. № 29 (2). С. 197-210. DOI: 10.20537/vm190205.
10. Хабаров В.И., Теселкин А.А., Косолапов К.П. Планирование экспериментов для оценки матрицы транспортных корреспонденций // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2015. № 3(28). С. 109-116.
11. Seyed Emadedin Hashemi. A fuzzy multi-objective optimization model for a sustainable reverse logistics network design of municipal waste-collecting considering the reduction of emissions. Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 318. 128577. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128577.