

УДК 330.4 JEL C02

UDC 330.4 JEL C02

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (физико-математические науки, экономические науки)

5.2.2. "Mathematical, statistical and instrumental methods in economics" (physical and mathematical sciences, economic sciences)

НЕЛИНЕЙНО-ДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ И УПРАВЛЕНИЮ НАГРУЗКОЙ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ДИСТРИБУТОРСКОЙ КОМПАНИИ

NONLINEAR DYNAMIC APPROACH TOWARDS LOAD ANALYSIS AND MANAGEMENT IT INFRASTRUCTURE OF THE DISTRIBUTION COMPANY

Аванесян Карина Зармиковна

Магистрант

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», Краснодар, Россия

Avanesyan Karina Zarmikovna

Master's student

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Попова Елена Витальевна

доктор экономических наук, профессор,

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», Краснодар, Россия

Popova Elena Vitalievna

Doctor of Economics, Professor

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

В работе процесс обработки заявок в ИТ-инфраструктуре дистрибуторской компании рассматривается как сложная динамическая система с обратными связями, запаздываниями и пороговыми эффектами. На основе статистических данных построена комбинированная модель, включающая логистическое уравнение с запаздыванием и систему массового обслуживания G/G/1. Проведенное исследование подтвердило гипотезу о том, что процесс обработки заявок в ИТ-отделе дистрибуторской компании представляет собой нелинейную динамическую систему, работающую в предкритическом режиме. Представленная математическая модель не только качественно, но и количественно объясняет наблюдаемые бизнес-показатели, экономическая интерпретация динамики нагрузки количественно оценивает прямые годовые потери компании, связанные с текущим режимом работы. Авторами наглядно продемонстрировано, что применение аппарата нелинейной динамики и теории массового обслуживания к процессу ИТ-поддержки предоставляет не только глубокое объяснение существующих проблем, но и строгий математический фундамент для разработки эффективных управленческих решений

In this article, the application processing process in the IT infrastructure of a distribution company is considered as a complex dynamic system with feedbacks, delays and threshold effects. Based on statistical data, a combined model was built that includes a delayed logistic equation and a G/G/1 queuing system. The study confirmed the hypothesis that the application processing process in the IT department of a distribution company is a nonlinear dynamic system operating in a precritical mode. The presented mathematical model not only qualitatively but also quantitatively explains the observed business indicators, the economic interpretation of the load dynamics quantifies the direct annual losses of the company associated with the current mode of operation. The authors clearly demonstrate that the application of nonlinear dynamics and queuing theory to the IT support process provides not only a deep explanation of existing problems, but also a rigorous mathematical foundation for the development of effective management solutions

Ключевые слова: ДИСТРИБУТОРСКАЯ КОМПАНИЯ, МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ, ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ЛОГИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, БИФУРКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Keywords: DISTRIBUTION COMPANY, NONLINEAR DYNAMICS METHODS, QUEUING THEORY, LOGISTIC MODEL, BIFURCATION ANALYSIS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-220-033>

<http://ej.kubagro.ru/2026/06/pdf/33.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день дистрибуторские компании функционируют в условиях высокой неопределенности и нестабильности внешней среды, что порождает нелинейные эффекты во всех бизнес-процессах. Критически важным элементом является ИТ-инфраструктура, отказоустойчивость и производительность которой напрямую влияют на ключевые экономические показатели. Процесс обработки заявок в ИТ-отдел можно рассматривать как сложную динамическую систему, где входной поток обращений, скорость их обработки и внутренние ресурсы взаимодействуют нелинейно.

Игнорирование нелинейностей (эффектов насыщения, запаздывания, пороговых эффектов) приводит к резким ухудшениям качества обслуживания, росту очередей и экономическим потерям [1-3]. Цель работы – выявление и анализ закономерностей нелинейной динамики нагрузки на ИТ-отдел для повышения эффективности управления ресурсами.

Объект исследования – процесс обработки заявок в ИТ-отделе дистрибуторской компании ООО «СТ НЕТВОРКИНГ». Предмет исследования – нелинейная динамика потока заявок и методы её математического моделирования.

Компания основана в 2009 году, численность – 115 сотрудников. Офисы и склады расположены в 13 городах РФ. Организационная структура – линейная. ИТ-отдел включает руководителя, двух системных администраторов, трех специалистов техподдержки, двух разработчиков, менеджера проектов, аналитика.

Основные функции отдела:

- обслуживание офисной и серверной техники;
- поддержка сети и безопасности данных;
- обеспечение работоспособности ПО;

- техническая помощь сотрудникам;
- сопровождение CRM;
- учёт оборудования и лицензий.

Нелинейная динамическая система – это математическая модель, в которой процесс изменения состояния во времени описывается нелинейными уравнениями [4-7]. Для такой системы характерно нарушение принципа суперпозиции: сумма решений не является решением, а реакция системы не пропорциональна воздействию. В процессе обработки заявок проявляются следующие свойства нелинейных систем:

- Чувствительность к начальным условиям: время ожидания варьируется от 5 минут до 1 дня (табл. 1);
- Наличие пороговых значений: специалист с загрузкой 0,95 находится в предкритическом состоянии;
- Эффекты запаздывания: регламентированные этапы обработки (диагностика 2 ч, решение 4 ч) создают запаздывание между поступлением заявки и высвобождением ресурса.

Таблица 1. Очередь на настоящий день

Позиция в очереди	ID заявки	Время ожидания	Приоритет
1	T-001	30 минут	Высокая
2	T-005	2 часа	Высокая
3	T-002	1 день	Средняя
4	T-006	5 минут	Критичная
5	T-007	45 минут	Низкая

Для реализации цели в настоящей статье авторами используются последовательно три основных метода:

1. Фазовые портреты и анализ устойчивости – определение условий, при которых система сохраняет работоспособность [4,7].
2. Бифуркационный анализ – выявление качественных изменений при варьировании параметров [6,8-10].
3. R/S–анализ и показатель Херста – для выявления долговременной памяти процессов [10].

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представим используемые в работе подходы к моделированию очередей [11,12].

Теория массового обслуживания (ТМО) описывает системы типа G/G/n. Ключевые параметры: интенсивность входящего потока λ (среднее число заявок в единицу времени); интенсивность обслуживания μ (среднее число заявок, обслуживаемых одним специалистом); коэффициент загрузки $\rho = \lambda / (n \cdot \mu)$.

Логистические уравнения учитывают зависимость скорости обслуживания от состояния системы. Модель Ферхюльста $\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$ описывает рост в среде с ограниченными ресурсами. Модели с запаздыванием (уравнение Хатчинсона) учитывают, что реакция системы происходит не мгновенно.

В настоящее время заявки обрабатываются через телефон, мессенджеры, e-mail. Этапы процесса: приём, распределение, выполнение, закрытие. Проблемы текущей системы: отсутствие приоритизации, недостаточная прозрачность, невозможность статистического анализа.

Факторы, влияющие на нагрузку IT–отдела, разделены на три группы:

1. Входные (экзогенные):
 - Интенсивность поступления $\lambda = 9,4$ заявки/день (табл. 2);
 - Структура потока по типам (проблемы, запросы, идеи);
 - Приоритеты (критичный, высокий, средний, низкий).

Таблица 2. Статистика очереди (за неделю)

Показатель	Значение	Норма
Заявок поступило	47	–
Заявок решено	42	–
Среднее время в очереди	2 часа	< 4 часов
Соответствие SLA	88%	> 90%
Отклоненных заявок	3	< 5%
Повторных обращений	2	< 3%

2. Внутренние (эндогенные):

- Количество специалистов – 4 (табл. 3);
- Загрузка: 0,95; 0,6; 0,4; 0,75;
- Регламентированное время обслуживания (SLA) – до 8,25 часа на заявку.

Таблица 3. Исполнители и их нагрузка

Исполнитель	Текущая заявка	В очереди	Занятость
Специалист 1	T-001	T-006	95%
Специалист 2	T-002	T-002, T-007	60%
Специалист 3	T-008	–	40%
Специалист 4	T-005	–	75%

3. Факторы обратной связи:

- Зависимость скорости обслуживания от длины очереди;
- Эффект блокировки ресурсов (негибкое распределение);
- Влияние качества на повторный поток.

Концептуальная постановка задачи

Цель моделирования – количественное описание динамики для выявления закономерностей и прогнозирования критических состояний. Характеристики системы: нестационарность потока, ограниченность ресурсов ($n = 4$), наличие очереди, приоритеты, обратные связи.

Логистическая модель с запаздыванием

Для моделирования процесса обработки заявок было выбрано логистическое уравнение с запаздыванием (модель Хатчинсона), поскольку оно позволяет учесть два ключевых фактора: ограниченность ресурсов IT-отдела (эффект насыщения) и наличие временного лага между поступлением заявки и высвобождением специалиста. С экономической точки зрения, параметр α в уравнении (2) отражает степень влияния длины очереди на скорость обслуживания: чем длиннее очередь, тем медленнее каждый специалист обрабатывает заявки из-за переключений между задачами. Параметр τ — это среднее время диагностики, в течение которого заявка уже поступила, но специалист ещё не приступил к её решению. Такой подход позволяет количественно оценить, как именно задержки в обработке усиливают перегрузку системы.

Базовое уравнение:

$$\frac{dN}{dt} = \lambda(t) - \mu(N)N \quad (1)$$

С учётом насыщения:

$$\mu(N) = \frac{\mu_{max}}{1 + \alpha N} \quad (2)$$

С учётом запаздывания τ (модель Хатчинсона):

$$\frac{dN}{dt} = \lambda(t) - \frac{\mu_{max}N(t-\tau)}{1 + \alpha N(t-\tau)} \quad (3)$$

Оценка параметров по данным компании:

$$\lambda = 47/5 = 9,4 \text{ заявок/день};$$

$$\mu_{max} = 4 \cdot 2,1 = 8,4 \text{ заявок/день};$$

$$\alpha \approx 0,00024;$$

$$\tau = 0,75 \text{ часа} = 0,03125 \text{ дня}.$$

Стационарное состояние:

$$N^* = \frac{\lambda}{\mu_{max} - \alpha\lambda}.$$

Условие существования: $\mu_{max} > \alpha\lambda$.

Для наших параметров $\alpha\lambda = 0,002256 \ll \mu_{max} = 8,4$, что подтверждает работу вблизи предела устойчивости.

Модель массового обслуживания G/G/1

В исследуемой системе входящий поток не является пуассоновским, время обслуживания не подчиняется экспоненциальному распределению, поэтому выбрана модель G/G/1.

Основные параметры модели:

- $\lambda = 9,4$ заявок/день;
- Среднее время обслуживания $\bar{b} = 0,5$ дня;
- $\mu_{cp} = 2$ заявки/день на специалиста;
- Коэффициент загрузки $\rho = \frac{9,4}{4 \cdot 2} = 1,175$.

Приближение Кингмана для времени ожидания:

$$W_q \approx \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right) \left(\frac{c_a^2 + c_b^2}{2} \right) \bar{b} \quad (4)$$

где $c_a \approx 1,5$, $c_b \approx 1,2$ (высокая вариативность). При $\rho > 1$ формула даёт расходящуюся оценку, что качественно верно для предкритического режима.

С учётом приоритетов:

$$W_q^p = \frac{W_0}{(1-\sigma_{p-1})(1-\sigma_p)}. \quad (5)$$

Модель объясняет разброс времени ожидания: критичная заявка Т-006 ожидает 5 минут, среднеприоритетная Т-002 – 1 день.

Верификация модели

Сравнение модельных и фактических значений (табл. 4) показывает удовлетворительное соответствие.

Таблица 4. Верификация модели

Показатель	Факт	Модель	Отклонение
Средняя длина очереди L	~7 заявок	7,05	< 1%
Среднее время ожидания W_q	2 часа	~2 часа	Согласуется
Диапазон времени ожидания	5 мин – 1 день	Объясняется приоритетами	Качественно
Коэффициент загрузки ρ	0,675 (средний)	1,175 (системный)	эффект блокировки
Повторные заявки	2 в неделю	предсказано моделью	Качественно

Анализ устойчивости и нелинейные эффекты

Исследование устойчивости

Оценка параметров текущего состояния:

- $\lambda = 9,4$ заявок/день;
- $\mu_{\text{факт}} = \frac{42}{4 \cdot 5} = 2,1$ заявки/день;
- $\rho_{\text{факт}} = \frac{9,4}{4 \cdot 2,1} = 1,12$.

Значение $\rho_{\text{факт}} = 1,12$ превышает единицу, что означает работу на пределе устойчивости.

При выбытии одного специалиста:

$$\rho' = \frac{9,4}{3 * 2,1} = 1,49$$

Таким образом, система крайне чувствительна к кадровым потерям и не имеет запаса прочности.

Из анализа модифицированной модели, учитывающей два механизма отрицательной обратной связи следует вывод о наличии двух особых точек на фазовом портрете. Во-первых, рост очереди снижает скорость обслуживания из-за эффекта насыщения (специалисты тратят время на переключение между задачами). Во-вторых, повторные обращения (2 в неделю по табл. 2) создают дополнительный возвратный поток заявок, что усиливает нелинейность. В результате уравнение стационарных состояний

становится квадратным и при определённых параметрах даёт два положительных корня. Анализ устойчивости показывает, что меньший корень (Q_1^*) – устойчивое равновесие, а больший (Q_2^*) – неустойчивый порог. При превышении этого порога положительные обратные связи начинают доминировать, и очередь неограниченно растёт.

Бифуркационный анализ

Бифуркация типа «седло–узел» возникает при превышении критической интенсивности входящего потока. Выбор бифуркации типа «седло–узел» обусловлен математической структурой модели. Стационарные состояния в модифицированном уравнении динамики очереди определяются из квадратного уравнения, которое при варьировании параметра λ даёт два корня – устойчивый и неустойчивый. При достижении критического значения λ_{crit} эти корни сливаются и исчезают, что является классическим признаком именно бифуркации «седло–узел». В отличие от бифуркации Хопфа, которая порождает колебания, или транскритической бифуркации, при которой происходит обмен устойчивостью, бифуркация «седло-узел» описывает катастрофический сценарий – исчезновение стационарного режима и переход к неограниченному росту очереди, что качественно соответствует наблюдаемым в компании процессам при перегрузке IT-отдела.

Оценка:

- Максимальная производительность одного специалиста $\mu_{max} = 2,5$ заявки/день;
- $C_{max} = 4 \cdot 2,5 = 10$ заявок/день;
- $\lambda_{crit} \approx 10$ заявок/день.

Запас прочности составляет всего 0,6 заявки/день (6%). При любом сезонном или ситуативном росте система войдёт в зону бифуркации.

Бифуркация, связанная с запаздыванием, может приводить к автоколебаниям с периодом $\sim 2\tau$. Для системы с $\tau = 8,25$ часа (среднее

время обработки) период составит 16-17 часов, что проявляется в «утренних» и «вечерних» пиках.

Режимы с обострением и хаотизация

Режим с обострением (*blow – up*) возможен при комбинации факторов: скачок λ , снижение μ , накопление повторных заявок. Доля повторных обращений (4,3%) близка к критическому порогу 3%.

Предпосылки хаотизации:

- три переменные (длина очереди Q , загрузка ρ , доля повторных заявок δ);
- нелинейное взаимодействие;
- чувствительность к начальным условиям.

Интегральная оценка рисков (табл. 5) показывает, что система находится в предкритической зоне.

Таблица 5. Зоны риска

Зона	Условия	Характер динамики	Риски
I. Стабильная работа	$\rho < 0,9$, $\lambda < 8$	Равновесие	Минимальные
II. Предкритическая	$0,9 < \rho < 1,2$; $8 < \lambda < 10$	Колебания, чувствительность	Срывы сроков
III. Бифуркации	$\rho > 1,2$; $\lambda > 10$	Рост очереди, обострение	Коллапс

Экономическая интерпретация и оптимизация

Экономические потери

Расчёт потерь (табл. 6) выполнен на основе данных компании:

Стоимость часа сотрудника: $60000/176 = 341$ руб.

Часовая ставка IT–специалиста: $80000/176 = 455$ руб.

Стоимость обработки заявки: $6 * 455 = 2\,730$ руб.

Таблица 6. Экономические потери

Статья потерь	Годовая сумма, руб.	Доля, %
Простои сотрудников	833 404	58,3
Штрафы за нарушение SLA	312 000	21,8
Повторные обращения	283 920	19,9
ИТОГО прямые потери	1 429 324	100

Рекомендации по управлению нагрузкой

Организационные меры:

1. Выравнивание загрузки специалистов (до 0,7–0,8)
2. Внедрение матрицы компетенций
3. Динамическая приоритезация заявок

Увеличение пропускной способности:

1. Увеличение штата до 5 человек ($\rho_{\text{нов}} = 0,89$)
2. Сокращение времени обслуживания (база знаний, обучение, автоматизация)

Снижение входящего потока:

1. Портал самообслуживания (снижение λ на 10–15%)
2. Профилактика повторных обращений

Мониторинг:

1. Система отслеживания критических параметров

Экономическая эффективность

Затраты на реализацию (табл. 7) составляют 1 430 000 руб.

Таблица 7. Затраты на мероприятия

Мероприятие	Затраты, руб.
-------------	---------------

Увеличение штата	960 000
Обучение персонала	120 000
Портал самообслуживания	250 000
Система мониторинга	100 000
ИТОГО	1 430 000

Прогнозируемое снижение потерь:

- Простои: $833\,404 * 0,4 = 333\,362$ руб.;
- SLA: $312\,000 * (0,12 - 0,05) / 0,12 = 182\,000$ руб.;
- Повторные: $283\,920 * (4,3 - 2) / 4,3 = 151\,680$ руб.;
- Нелинейные эффекты: $1\,429\,324 * 0,3 = 428\,797$ руб.

Общий годовой эффект: 1 095 839 руб.

Показатели эффективности:

- NPV (3 года, 15%) = 1 071 000 руб.;
- Срок окупаемости = 1,3 года;
- Индекс доходности PI = 1,75.

Расчётные формулы для исходных потерь в тексте не приведены, так как они основаны на внутренних данных компании, являющихся коммерческой тайной. В статье показана только методика и структура потерь. Коэффициенты 0,4 и 0,3 получены из нелинейной модели: 0,4 – это отношение $\rho_{\text{нов}}/\rho_{\text{тек}}$ с поправкой на нелинейность; 0,3 – оценка доли потерь, связанных с работой в закритической области ($\rho > 1$).

Расчётные формулы показателей эффективности:

$$NPV = \sum_{t=1}^3 \frac{\Delta L_t}{(1+r)^t} - I_0$$

$$PB = \frac{I_0}{\Delta L}$$

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^3 \frac{\Delta L_t}{(1+r)^t}}{I_0}$$

где:

$\Delta L_t = 1\,095\,839$ руб. – годовой эффект(принят постоянным),

$r = 0,15$ – ставка дисконтирования,

$I_0 = 1\,430\,000$ руб. – начальные инвестиции.

Обоснование коэффициентов снижения потерь:

0,4 – снижение простоев, обусловленное уменьшением ρ с 1,12 до 0,89 (с учётом нелинейного ускорения роста очереди);

$(0,12 - 0,05)/0,12$ – целевое снижение доли нарушений SLA с 12% до 5%;

$(4,3 - 2)/4,3$ – целевое снижение повторных обращений с 4,3 до 2 в неделю;

0,3 – оценка доли потерь, связанных с нелинейными эффектами (работа при

$\rho > 1$ вблизи бифуркационного порога).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтвердило гипотезу о том, что процесс обработки заявок в IT-отделе дистрибьюторской компании представляет собой нелинейную динамическую систему, работающую в предкритическом режиме. Следовательно, использование методов нелинейной динамики и аппарата теории массового обслуживания в контексте IT-поддержки формирует не только содержательную интерпретацию имеющихся затруднений, но и строгую математическую основу для формирования эффективных управленческих стратегий. Внедрение описанного комплекса мероприятий, совокупная стоимость

которого определена в 1 430 000 рублей (см. табл. 7), обеспечивает стабилизацию системы, устраняет режимы с обострением и гарантирует экономическую отдачу, превосходящую уровень инвестиций уже в течение первого года за счёт устранения выявленных прямых убытков. Будущие исследования следует направить на разработку и валидацию агент-ориентированных моделей, позволяющих учитывать персональные компетенции сотрудников и более сложные траектории обработки обращений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. – М.: Финансы и статистика, 2021. – 320 с.
2. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 400 с.
3. Козлов В.Г. Теория массового обслуживания: учебное пособие. – М.: ТУСУР, 2012. – 57 с.
4. Тамбиева, Д. А. К проблеме недостаточности информации. Малые выборки или "очень короткие" временные ряды / Д. А. Тамбиева, Е. В. Попова, Ш. Х. Салпагарова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 126-141.
5. Кумратова А.М., Попова Е.В. Нелинейная динамика экономических процессов: учебное пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2020. – 179 с.
6. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. – М.: ЛЕНАНД, 2017. – 312 с.
7. Попова, Е. В. Туристско-рекреационная деятельность: методы, модели, прогноз / Е. В. Попова, А. М. Кумратова, М. В. Шебзухова. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2008. – 195 с. – ISBN 978-5-94672-368-8.
8. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 320 с.
9. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 2015. – 424 с.
10. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение. – М.: Мир, 2018. – 240 с.
11. Теория систем массового обслуживания: учебное пособие / сост. А.В. Шапошников [и др.]. – Ставрополь: СКФУ, 2017. – 134 с.
12. Сиднев А.Г., Сабонис С.С., Цыган В.Н. Массовое обслуживание для исследования и оптимизации систем: учебное пособие. – 4-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. Ун-та, 2025.

References

1. Afanas`ev V.N., Yuzbashev M.M. Analiz vremenny`x ryadov i prognozirovanie. – М.: Finansy` i statistika, 2021. – 320 s.
2. Gnedenko B.V., Kovalenko I.N. Vvedenie v teoriyu massovogo obsluzhivaniya. – М.: LENAND, 2019. – 400 s.

3. Kozlov V.G. Teoriya massovogo obsluzhivaniya: uchebnoe posobie. – M.: TUSUR, 2012. – 57 s.
4. Tambieva, D. A. K probleme nedostatochnosti informacii. Maly`e vy`borki ili ochen` korotkie vremenny`e ryady` / D. A. Tambieva, E. V. Popova, Sh. X. Salpagarova // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 107. – S. 126-141.
5. Kumratova A.M., Popova E.V. Nelinejnaya dinamika e`konomicheskix processov: uchebnoe posobie. – Krasnodar: KubGAU, 2020. – 179 s.
6. Malineczkij G.G. Matematicheskie osnovy` sinergetiki: Xaos, struktury`, vy`chislitel`ny`j e`ksperiment. – M.: LENAND, 2017. – 312 s.
7. Popova, E. V. Turistsko-rekreacionnaya deyatel`nost`: metody`, modeli, prognoz / E. V. Popova, A. M. Kumratova, M. V. Shebzuxova. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet, 2008. – 195 s. – ISBN 978-5-94672-368-8.
8. Samarskij A.A., Mixajlov A.P. Matematicheskoe modelirovanie: Idei. Metody`. Primery`. – M.: FIZMATLIT, 2015. – 320 s.
9. Xaken G. Sinergetika: ierarxii neustojchivostej v samoorganizuyushhixsya sistemax i ustrojstvax. – M.: Mir, 2015. – 424 s.
10. Shuster G. Determinirovanny`j kaos: Vvedenie. – M.: Mir, 2018. – 240 s.
11. Teoriya sistem massovogo obsluzhivaniya: uchebnoe posobie / sost. A.V. Shaposhnikov [i dr.]. – Stavropol`: SKFU, 2017. – 134 s.
12. Sidnev A.G., Sabonis S.S., Cygan V.N. Massovoe obsluzhivanie dlya issledovaniya i optimizacii sistem: uchebnoe posobie. – 4-e izd., ispr. i dop. – Sankt-Peterburg: Izd-vo Politehn. Un-ta, 2025.