УДК 332.14
DOI: 10.37890/jwt.vi80.528

Численные методы оптимизации логистических систем в процессе управления запасами

С.С. Чеботарев[1]
ORCID: 0000-0002-2920-8150
В.А. Хайтбаев[2]
ORCID: 0000-0001-8244-8842
В.В. Бутченко[1]
[1]*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*
[2]*Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара, Россия*

Аннотация. Перед учеными всегда стояла задача оценить эффективность функционирования сложных систем, к которым однозначно относятся логистические системы транспорта (водный, воздушный, железнодорожный, автомобильный и их комбинации) и запасов продукции (товаров), которые (запасы товаров) во времени находятся в статическом (склады) и динамическом (транспорт) состояниях. В этой области знаний накоплен огромный теоретический материал, многократно проверенный и успешно применяемый, особенно в отношении логистических систем. Однако, как известно, на основании оценки эффективности сравниваются однотипные системы, оперативно оценивается действие систем, проверяется соответствие системы назначению, выясняется наличие или отсутствие целевой целенаправленности и др. Отсюда определяется актуальность математического аппарата (численных методов) оптимизации запасов продукции (товаров) как расчета для аргументированного принятия решений по эффективному управлению запасами с использованием транспорта и складских емкостей на экономической основе: целевой функции - минимизации издержек.

Снижение издержек в процессах функционирования логистических систем вследствие действия двух основных законов – закона экономии времени и закона сохранения энергии является одним из основных современных направлений повышения их эффективности как сложных систем [1-5]. Поэтому, в качестве постановки задачи исследования определена оптимизация логистических систем по критерию издержек (потерь) в процессах их функционирования.

Целью работы является развитие применения численных методов оптимизации логистических систем в процессе управления запасами.

Новизна состоит в применении численных методов и полученных расчетных соотношений, которые могут быть использованы в практике логистической системы водного, воздушного, железнодорожного и автомобильного транспорта по управлению запасами методом оптимизации определяемых потерь (издержек).

Результат заключается в разработанном методе исследования теоретически рассчитанных потерь, имеющих место в процессах функционирования логистических систем всех видов транспорта и их комбинаций (далее транспорта).

Теоретическая значимость полученных результатов представляют собой развитие применения численных методов оптимизации логистических систем в процессе управления запасами, включающая: совокупность факторов и критериев оптимизации логистических процессов; метод моделирования и оптимизации процессов функционирования логистических систем транспорта; метод анализа потерь в процессах функционирования логистических систем транспорта. Указанные теоретические положения позволяют оптимизировать процессы функционирования логистических систем транспорта и, в конечном итоге, повысить эффективность обеспечения потребителей, что имеет важное социально-экономическое значение.

Ключевые слова: запасы, критерий, модель, оптимизация, процесс, система, транспорт, логистика, управление, эффективность.

Numerical methods for optimizing logistics systems in the process of inventory management

Stanislav S. Chebotarev[1]
ORCID:0000-0002-2920-8150
Valery A. Khaitbaev[2]
ORCID:0000-0001-8244-8842
Viktor V. Butchenko[1]
[1]*Volga State University of Water Transport, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*
[2]*Samara State University of Communications, Samara, Russia*

Abstract. Scientists have always faced the task of evaluating the functioning of complex systems effectiveness ,which unambiguously include transport logistics systems (water, air, rail, automobile and their combinations) and products stocks (goods), which (stocks of goods) are in static (warehouses) and dynamic (transport) states over time. A huge amount of theoretical material has been accumulated in this field of knowledge, which has been repeatedly tested and successfully applied, especially in relation to logistics systems. However, as is known, on the basis of an efficiency assessment, similar systems are compared, the operation of the systems is promptly evaluated, the system's compliance with its purpose is checked, the presence or absence of targeted targeting is found out, etc.

Hence, the relevance of the mathematical apparatus (numerical methods) for products stocks optimizing (goods) is determined as a calculation for reasoned decision-making on effective inventory management using transport and storage capacities on an economic basis: the objective function is to minimize costs. Cost reduction in the processes of logistics systems functioning due to the action of two basic laws – the law of saving time and the law of energy conservation is one of the main modern directions for increasing their efficiency as complex systems [1-5].

Therefore, the optimization of logistics systems according to the costs (losses) criterion in the processes of their functioning is defined as the research task.formulation .

The aim of the work is to develop the application of numerical methods for optimizing logistics systems in the process of inventory management. The novelty consists in the application of numerical methods and the calculated ratios obtained, which can be used in the practice of the logistics system concerning water, air, rail and road transport for inventory management by optimizing the determined losses (costs).

The result consists in the developed method of studying theoretically calculated losses occurring in the processes of functioning of logistics systems of all types of transport and their combinations (hereinafter transport).

The theoretical significance of the results obtained is the numerical methods application development for optimizing logistics systems in the process of inventory management, including: a set of factors and criteria for optimizing logistics processes; a method for modeling and optimizing the processes of functioning of logistics transport systems; a method for analyzing losses in the processes of functioning of logistics transport systems. These theoretical provisions make it possible to optimize the processes of logistics transport systems functioning and, ultimately, to increase the providing consumers efficiency , which is of important socio-economic importance.

Keywords: inventory, criterion, model, optimization, process, system, transport, logistics, management, efficiency.

Введение

В целях оптимизации логистических систем транспорта и запасов по критерию издержек (потерь) в процессах их функционирования, прежде всего, необходима математическая формализация потерь и определение опорных математических выражений. Целесообразно разработать способы оценки эффективности функционирования систем с потерями, выявить и обосновать факторы и параметры оптимизации, описывающие потери в процессе функционирования данных логистических систем в целях получения необходимых опорных соотношений для дальнейшей разработки имитационных моделей функционирования исследуемых логистических систем транспорта и запасов продукции (товаров) с потерями [3, 5-6].

Обычно процессы функционирования сложных систем представляются непрерывными и, по крайней мере, однократно дифференцируемыми функциями (предполагается, что физически "скачкообразное" взаимодействие нереализуемо) [6-7]. Однако в реальности, особенно для процессов управления запасами, операционных и экономических, чаще всего реализуемо "скачкообразное" взаимодействие. При этом, возможно, что при бесконечно малом приращении аргумента (например, продолжительности процесса), приращение функции (изменение запасов материальных средств) может иметь конечную величину, т.к. изменение запасов материальных средств осуществляется "порциями" в конкретный момент времени. Величина "порции" конечна и определяется, например, при подвозе грузоподъемностью транспортных средств (автомобиля, вагона, судна, эшелона и т.п.), а при расходе - численностью и уровнем потребителя [8-10]. Причем подобное скачкообразное изменение происходит практически одномоментно, естественно, если его соотносить с длительностью процессов материального обеспечения. Поэтому, в связи с этим необходимо обосновать способ исследования функций, базирующийся на анализе конечных приращений функции, что и рассматривается в статье.

Методы исследования

Для достижения цели работы по развитию применения численных методов оптимизации логистических систем в процессе управления запасами транспорта были использованы методы классического и системного анализа, логистики, исследования операций, математического исследования поведения функций и дифференциальные исчисления.

Результаты и обсуждение

Управление запасами в логистической системе транспорта (далее логистическая система) предусматривает анализ процессов функционирования логистических систем на основе потерь через $\Delta d_{i.}$, имеющих место в этих процессах. Поэтому является естественным методом обратиться к математической формализации этих потерь и определению соответствующих математических соотношений данных потерь по целевому критерию - $\Delta d_{i.}$

Для анализа функции представляет интерес разность приращений функции, которую назовем вариацией соответствующих математических соотношений относительно - Δd_i (рисунок 1), которая определяется соотношением:

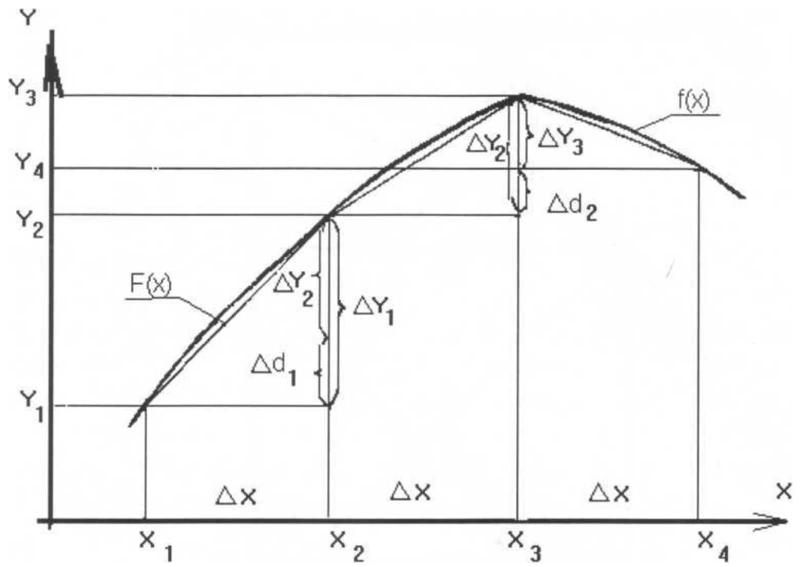

Рис.1. Вариация приращения функции: Δd_i– математическая формализация i-х потерь (издержек) логистической системы в процессах ее функционирования

$$\Delta d_i = |d_{\Delta} y_i - d_{\Delta} y_{i+1}|, (i = 1,2, \dots, n).$$

Это соотношение используя теорию тригонометрии можно еще представить в виде:

$$\Delta d_i = \left| \mathrm{tg}\left(\frac{\mathrm{arctg}\, f'(x_{i-1}) + \mathrm{arctg}\, f'(x_i)}{2}\right) dx - \mathrm{tg}\left(\frac{\mathrm{arctg}\, f'(x_i) + \mathrm{arctg}\, f'(x_{i+1})}{2}\right) dx \right|.$$

Большинство естественных процессов, как правило, описываются сложной кривой. При технической реализации процесса осуществляется разделение его на элементарные и функционально завершенные, но взаимосвязанные технологические операции. В принципе, техническую реализацию естественного процесса можно рассматривать как кусочно-линейную аппроксимацию непрерывной дифференцируемой функции, описывающую этот процесс (рисунок 2). При этом каждый линейный участок с заданной точностью аппроксимирует исследуемую функцию и описывает отдельную технологическую операцию. В зависимости от условий, аппроксимация может быть кусочно-линейной в классическом виде или ступенчатой (типа гистограммы). Следовательно, подходы к анализу функции будут разные. Необходимо отметить, что прямая и гистограмма наиболее просты для технической реализации и являются основными характеристическими функциями производственных процессов. На данном этапе развития техники они экономичнее и надежнее других характеристических функций. Поэтому рассмотрим это предметно используя для ясности и простоты понимания графическую (геометрическую) наглядность, представленную на рисунке 2. Для этого, прежде всего примем, что кусок кривой (рисунок 2), заключенный между точками $f_{(x_i)}$ и $f_{(x_{i+1})}$, при бесконечном уменьшении стремится к дуге окружности.

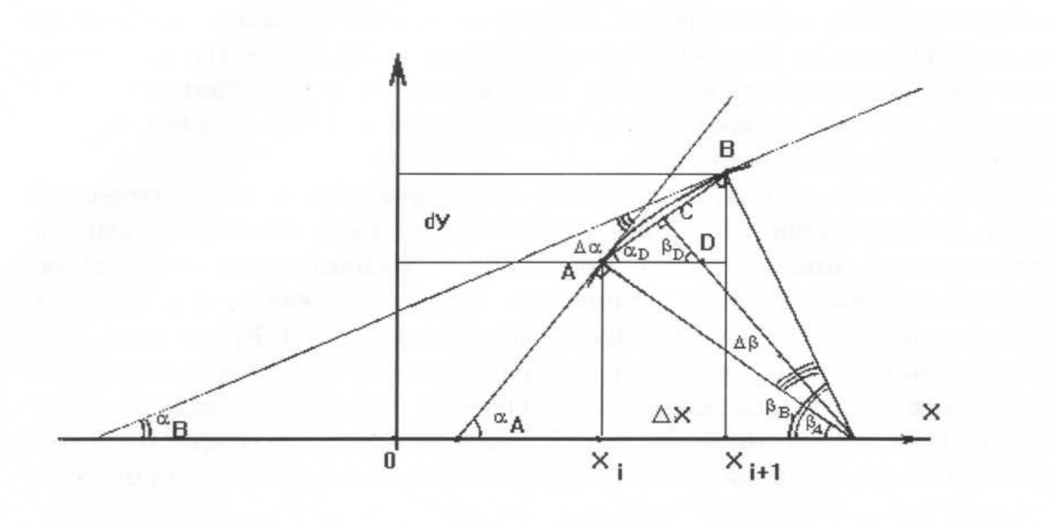

Рис.2. Аппроксимация кривой ступенчатой функцией (типа гистограммы)

Найдем выражение угла ZCAD = a_D. Треугольник CAD прямоугольный, учитывая то, что сумма углов треугольника равна 180° и исходя из подобия прямоугольных треугольников, имеем:

$$\alpha_D = 90 - \beta_D,$$

но:

$$\beta_D = \beta_A + \frac{\Delta\beta}{2},$$

$$\Delta\beta = \Delta\alpha,$$

$$\beta_A = 90 - \alpha_A,$$

откуда:

$$\alpha_D = \alpha_A + \frac{\Delta\alpha}{2},$$

$$\Delta\alpha = \alpha_A - \alpha_B \ .$$

С учетом того, что:

$$\mathrm{tg}(\alpha_A) = f'(x_A), \mathrm{tg}(\alpha_B) = f'(x_B),$$

откуда:

$$\alpha_A = \mathrm{arctg}\, f'(x_A), \alpha_B = \mathrm{arctg}\, f'(x_B), \quad (1)$$

поэтому:

$$\alpha_D = \left| \mathrm{arctg}\, f'(x_A) - \frac{\mathrm{arctg}\, f'(x_A) - \mathrm{arctg}\, f'(x_B)}{2} \right|,$$

или:

$$\alpha_D = \left| \frac{\mathrm{arctg}\, f'(x_i) + \mathrm{arctg}\, f'(x_{i+1})}{2} \right|.$$

Зная угол α_D и давая аргументу приращение Δx, легко можно найти Δy по известному соотношению:

$$\Delta y = tg(\alpha_D)\Delta x.$$

Поэтому приращение функции Δy при приращении аргумента Δx можно найти по соотношению:

$$\Delta y = \mathrm{tg}\left(\frac{\mathrm{arctg}\, f'(x_i) + \mathrm{arctg}\, f'(x_{i+1})}{2}\right)\Delta x.$$

Следовательно, если принять, что кусок любой кривой, заключенный между точками $\mathrm{f}(x_i)$ и $\mathrm{f}(x_{i+1})$ при бесконечном уменьшении стремится к дуге окружности, то изложенное позволяет получить выражение уточненного дифференциала функции $d_\Delta y$:

$$d_\Delta y = \Delta y = \mathrm{tg}\left(\frac{\mathrm{arctg}\, f'(x_i) + \mathrm{arctg}\, f'(x_{i+1})}{2}\right)dx, \tag{2}$$

который равен Δy и отличается от обычного дифференциала dy на бесконечно малую величину δ_d (рисунок 3):$\delta_d = d_\Delta y - dy$.

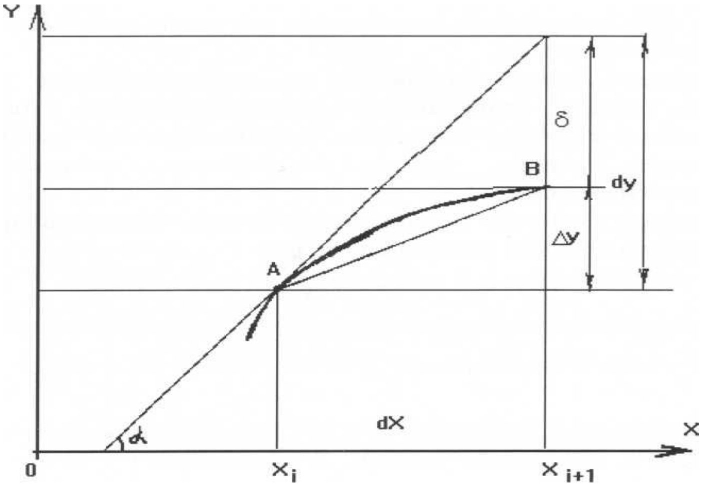

Рис.3. Дифференциал и приращение функции

Как известно, дифференциал функции dy определяется с погрешностью, т.к. $\Delta y - \mathrm{d}y \neq 0$. Так, например, для функции:

У = X^2,

приращение функции будет:

$$\Delta \mathrm{y} = (\mathrm{x} + \Delta x)^2 - \mathrm{x}^2,$$

которое можно преобразовать к виду:

$$\Delta y = 2x\Delta x + \Delta x^2,$$

а дифференциал функции dy:

$$\mathrm{dy} = (\mathrm{x}^2)' = 2\mathrm{x}\,\Delta \mathrm{x}.$$

Откуда абсолютная погрешность вычисления дифференциала функции будет δ:

$$\delta = \mathrm{d}_\Delta \mathrm{y} - \mathrm{dy} = \Delta \mathrm{y} - \mathrm{dy} = \Delta \mathrm{x}^2.$$

При этом если значения Δx переходят из области бесконечно малых величин в область конечных, то в этом случае величина погрешности становится настолько большой, что пренебрегать ей становится невозможно.

Поэтому, если принять, что кусок кривой при бесконечном уменьшении стремится к дуге окружности, то для того, чтобы определить изменение функции достаточно знать производные этой функции в двух точках: f(x_i)и f(x_{i+1}). А тем, что "происходит" между этими точками, в данном случае можно пренебречь.

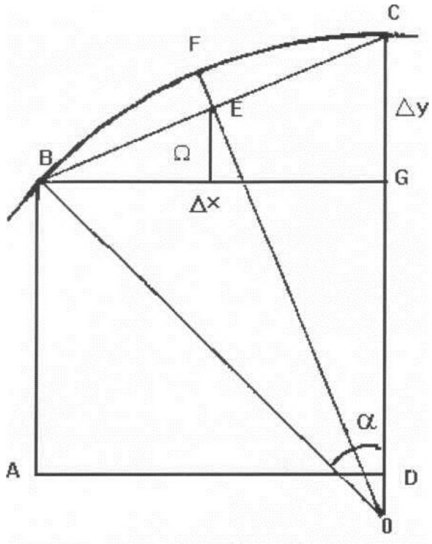

Рис.4. Аппроксимация кривой линейным участком

Таким образом, можно, при определенных условиях, аппроксимировать ступенчатую функцию (гистограмму) сегментами окружности (рисунок 4). Тогда и для данного случая применимо соотношение (1), если только нам достаточно знать ответ на один вопрос - на какую величину произошел скачок.

Приведенные выше положения с определенными допущения позволяют (не "ломая" классических методов анализа и в рамках этих методов) с одной стороны "сохранить" скачкообразное изменение, а с другой стороны решать задачи в условиях реализации этого скачкообразного изменения.

Рассмотрение допущения о том, что техническая реализация естественного процесса является кусочно-линейной аппроксимацией сложной функции, описывающей этот процесс, неизбежно приводит к необходимости оценки точности ее осуществления.

Показатель $d_{\Delta}y$, имеющий конечную величину, можно использовать как показатель, описывающий погрешность аппроксимации исследуемой функции приближенной ступенчатой функцией (по типу гистограммы).

Выделим один линейный участок, имеющий вид как показано на рисунке 4. В качестве погрешности при аппроксимации функции одним таким линейным участком целесообразно взять половину Δy^2 или $d_{\Delta}y^2$.

В этом случае, в качестве критерия близости функций можно принять $\Phi(\Omega)$:

$$\Phi(\Omega) = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_{\Delta} y_i^2}{2} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\operatorname{tg}\left(\frac{\operatorname{arctg} f'(x_i) + \operatorname{arctg} f'(x_{i+1})}{2}\right) dx\right]^2}{2}.$$

При определенных условиях и при необходимости оценить изменение функции еще можно следующим образом.

Рассмотрим окружность единичного радиуса с центром, совпадающим с центром координат (рисунок 5).

Обозначим OA = OD = r, AB = b, BD = a, откуда: a = OD - OB.

Найдем стрелу сегмента окружности a по известному выражению:

$$a = r - r\sqrt{1 - \left(\frac{b}{r}\right)^2} \tag{3}$$

Для удобства запишем (3) в виде:

$$\frac{a}{r} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{b}{r}\right)^2}\,.$$

Обозначим a/r как , h_i, b как b_i, r через r_i:

$$h_i = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{b_i}{r_i}\right)^2}\,,\ \ (\mathrm{i} = 1,2,\ldots,\mathrm{n}), \tag{4}$$

учитывая то, что r_i = 1 имеем:

$$h_i = 1 - \sqrt{1 - b_i^2}, \qquad (\mathrm{i} = 1,2,\ldots,\mathrm{n}). \tag{5}$$

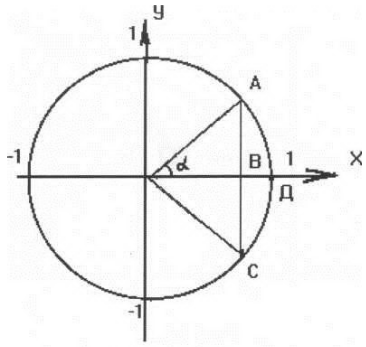

Рис.5. Окружность единичного радиуса

Показатель h_iможно, при необходимости, использовать для оценки изменения функции. Интересна графическая зависимость h_iот b_i (рисунок 6).

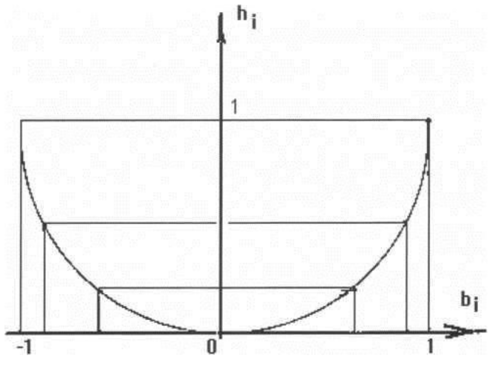

Рис.6. Графическая зависимость h_j от L

Рассмотрим рисунок 7. Дана функция f(x), которая разделена на сегменты окружности, как показано на рисунке.

Обозначим EA = ED =EC = R_i, AC = B_i, DB = H_i и H_i/R_i=h_i.

С учетом соотношения (4) имеем:

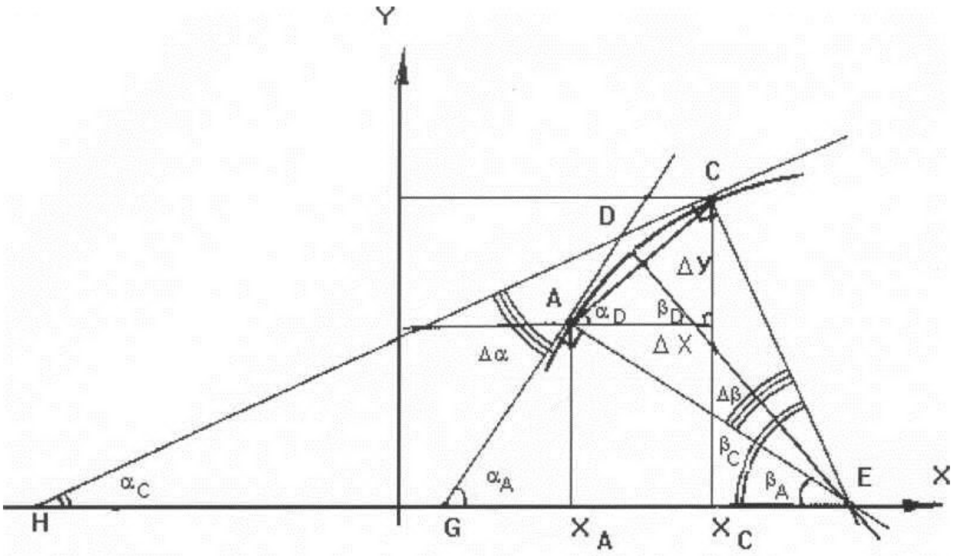

Рис.7. Аппроксимация кривой кусочно-линейной функцией

$$h_i = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{B_i}{2R_i}\right)^2}, \text{ (i = 1,2,..., n)}. \qquad (6)$$

Учтем, что:

$$\frac{B_i}{2R_i} = \sin\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right),$$

где: $\Delta\beta = \beta_\text{C} - \beta_\text{A}$.

Построим касательные в точках A и C. Учитывая то, что сумма углов треугольника:

$\alpha + \beta + \gamma = 180°$и рассматривая прямоугольныетреугольники GAE и HCE находим, что:

$$\Delta\beta = \beta_C - \beta_A = \alpha_A - \alpha_C = \Delta\alpha, \text{т.е.}\, \Delta\beta = \Delta\alpha,$$

$$\frac{B_i}{2R_i} = \sin\left(\frac{\Delta\alpha}{2}\right) = \sin\left|\frac{\alpha_A - \alpha_C}{2}\right|,$$

с учетом того, что:

$$\text{tg}(\alpha_A) = f'(x_A), \text{tg}(\alpha_c) = f'(x_c),$$

откуда:

$$\alpha_\text{A} = \text{arctg}\, \text{f}'(\text{x}_\text{A}), \alpha_\text{c} = \text{arctg}\, \text{f}'(\text{x}_\text{c}).$$

Поэтому:

$$\left|\frac{\alpha_A - \alpha_C}{2}\right| = \left|\frac{\text{arctg}\, f'(x_A) - \text{arctg}\, f'(x_C)}{2}\right|,$$

следовательно,

$$\frac{B_i}{2R_i} = \sin\left|\frac{\alpha_A-\alpha_C}{2}\right| = \sin\left|\frac{\operatorname{arctg} f'(x_A)-\operatorname{arctg} f'(x_C)}{2}\right|. \quad (7)$$

Подставляя выражение (7) в (6), получаем:

$$h_i = 1-\sqrt{1-\left(\sin\left|\frac{\operatorname{arctg} f'(x_i)-\operatorname{arctg} f'(x_{i+1})}{2}\right|\right)^2} \quad (8)$$

Кроме того, h_i, выраженное аналитической зависимостью (8), можно найти и по другим известным соотношениям [3-4], подставляя в них выражение (5):

$$h_i = 1-\cos\left|\frac{\operatorname{arctg} f'(x_i)-\operatorname{arctg} f'(x_{i+1})}{2}\right|,$$

или:

$$h_i = \left|\frac{\operatorname{arctg} f'(x_i)-\operatorname{arctg} f'(x_{i+1})}{2}\right| \operatorname{tg}\left|\frac{\operatorname{arctg} f'(x_i)-\operatorname{arctg} f'(x_{i+1})}{4}\right|.$$

Обозначим через ε наперед принимаемый показатель погрешности при аппроксимации функции кусочно-линейной функцией и выразим его соотношением:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{n} \leq \varepsilon.$$

Абсолютное значение стрелки сегмента окружности найдем следующим образом. Рассмотрим рисунок8, где дана кривая, которая аппроксимируется линейным участком на отрезке $[x_A, x_C]$.

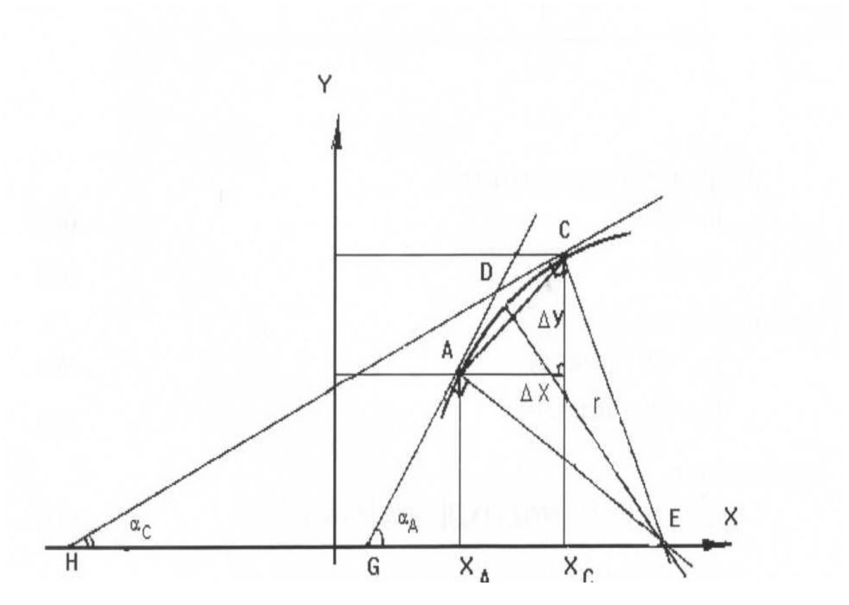

Рис. 8.Аппроксимация кривой AD кусочно-линейной функцией: линейный участок на отрезке $[x_A, x_C]$

С учетом того, что радиус кривизны кривой r в данной точке определяется по соотношению [5]:

$$r = \frac{1}{\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}|\cos^3 \alpha|},$$

где α - угол наклона касательной в данной точке, откуда найдем:

$$H_i = h_i r = \left(1 - \sqrt{1 - \left[\sin\left|\frac{k(x_i, x_{i+1}}{}\right|\right]^2}\right)\frac{1}{\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\{\cos^3 \alpha\}}.$$

Рассмотрим рисунок 9. Даны две функции f(x) и g(x), определим изменение величины тангенсов углов p_f и p_g путем сравнения соответствующих параметров этих функций.

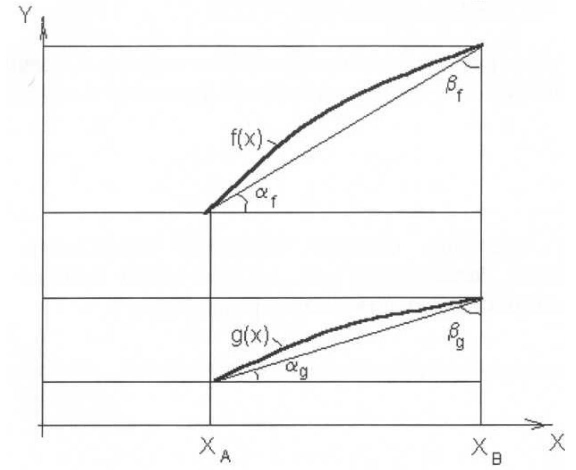

Рис.9. Определение изменения тангенсов углов: β_{f} и β_g

β_{f} и β_{g} можно определить как:

$$\beta_{\mathrm{f}} = 90 - \alpha_{\mathrm{f}},$$

$$\beta_{\mathrm{g}} = 90 - \alpha_{\mathrm{g}}.$$

С учетом (1) получим:

$$\beta_{\mathrm{fA}} = 90 - \operatorname{arctg} \mathrm{f}'(\mathrm{x_A}), \tag{9}$$

$$\beta_{\mathrm{gA}} = 90 - \operatorname{arctg} \mathrm{g}'(\mathrm{x_A}). \tag{10}$$

Следовательно:

$$\operatorname{tg} \beta_{\mathrm{fA}} = \operatorname{tg}[90 - \operatorname{arctg} \mathrm{f}'(\mathrm{x_A})] = \operatorname{ctg}[\operatorname{arctg} \mathrm{f}'(\mathrm{x_A})], \tag{11}$$

$$\operatorname{tg} \beta_{g\mathrm{A}} = \operatorname{tg}[90 - \operatorname{arctg} \mathrm{g}'(\mathrm{x_A})] = \operatorname{ctg}[\operatorname{arctg} \mathrm{g}'(\mathrm{x_A})]. \tag{12}$$

Откуда изменение тангенсов углов Pf и P_g AB, определим по соотношению:

$$\Delta\mathrm{B_i} = \operatorname{tg} \beta_{\mathrm{f}} - \operatorname{tg} \beta_{\mathrm{g}} = |\operatorname{ctg}[\operatorname{arctg} \mathrm{f}'(\mathrm{x_A})] - \operatorname{ctg}[\operatorname{arctg} \mathrm{g}'(\mathrm{x_A})]|. \tag{13}$$

Общее изменение ДВ на всей области определения функции можно определить как сумму частных АВ (рисунок 10).

$$\Delta B = \sum_{i=1}^{n} \Delta B_i, (n = 1,2,..k). \quad (14)$$

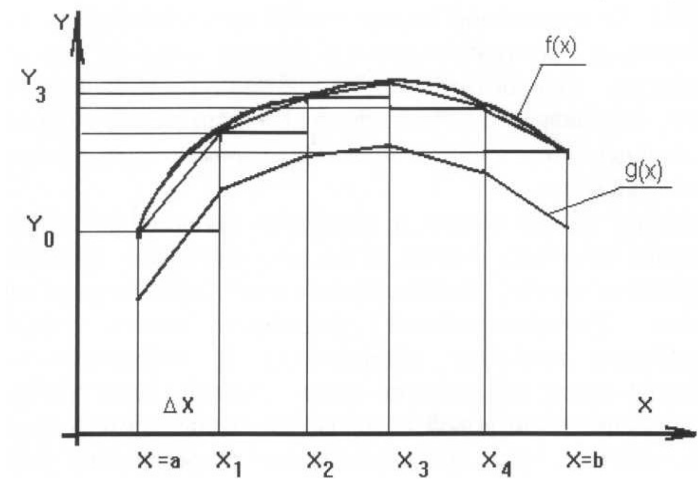

Рис.10. Определение общего изменения тангенсов углов: $\mathrm{tg}\,\beta_{\mathrm{fA}}$ и$\mathrm{tg}\,\beta_{g\mathrm{A}}$

При необходимости, и в зависимости от поставленной задачи приведенные соотношения (1) – (14) могут быть пригодны и полезны для анализа и оценки целевой функции логистической системы по управлению запасами методом оптимизации определяемых потерь (издержек) на основе вычислений (решений) дифференциальных уравнений, описывающих потери (издержки) при управлении запасами (ресурсами).

С практической точки зрения кусочно-линейная аппроксимация, которая через оценку приращения аргумента и ее влияние на приращение функции под которой пониманием изменение величин подвоза или отгрузки запасов позволяет решать достаточно тривиальную задачу, уменьшение издержек при управлении запасами, не тривиальными методами, которые более точно определяют уровень потерь ресурсов. Более того, предложенный подход более эффективен в условиях неопределенности, где задача управления запасами решается на основе разделения процесса на периоды (участки) выделяя относительно прогнозируемый детерминированный спрос и стахостический, где имеет место динамика изменения страховых запасов, что может быть инструментов снижение рисков потерь.

Очевидно, разработанный способ оценки затрат (потерь ресурсов) должен быть основой программного продукта, использование которого можно оценивать, как способ «тонкой настройки» стратегий управления запасами, где предусматриваются большие объемы движения запасов, например, для крупной логистической распределительной сети.

Вместе с тем, способ оценки затрат методом кусочно-линейной аппроксимации, предложенный в статье, требует достаточно точной первичной информации о движении запасов, которая с точек ее получения часто искажается, и при малых приращениях аргумента и функции оценка потерь или затрат будет в значительной степени не достоверна.

Тем не менее, разработанный подход, приобретет методологическую ценность, при разработке долгосрочных стратегий управления запасами частью которых является научно-методический инструментарий.

Так, например, управление запасами при многономенклатурных и многопродуктовых поставках дает возможность, оценить применение разработанного в статье подхода, поскольку эти поставки предполагают большое число организаций, реализацию больших объемов запасов и большие затраты на их содержание, что при использовании кусочно-линейной аппроксимации функции расхода на множестве единичных операций позволяет получить эффект масштаба при упомянутых многономенклатурных и многопродуктовых поставках.

В тоже время, методы позволяющие получать приближенные решения для многономенклатурных и многопродуктовых задач, имеют вид достаточно несложных вычислений и использование кусочно-линейной аппроксимации функции расхода обеспечит повышении их точности.

Заключение

Возникновение теоретической проблемы является следствием существования в настоящее время у органов управления транспортом потребности в научно обоснованных способах и средствах оптимального использования и минимизации потерь объективно ограниченных ресурсов, предназначенных для удовлетворения потребителя.

Потери имеют место в процессах функционирования всех без исключения реальных систем, в том числе и в процессах функционирования логистических систем. Необходимость снижения потерь и оптимизации процессов функционирования указанных систем предопределили теоретическую задачу исследования и необходимость развития применения численных методов анализа потерь. При актуальности развития методологии анализа потерь в аспекте применения новых численных методов - это не означает, что практически нет теоретических наработок по проблемам потерь. Как показывает анализ, их предостаточно, однако единой комплексной теории потерь в процессах функционирования сложных систем нет. Поэтому актуальной проблемой является разрешение противоречия между объективным знанием о реально существующих потерях в процессах функционирования логистических систем и нарастающими несоответствиями в уровне развития методологии их моделирования и оптимизации на основе анализа потерь, имеющих место в этих процессах. Указанные противоречия являются следствием действия всеобщих естественных законов перехода количественных изменений в качественные, а также единства и борьбы противоположностей.

Рассматривая поведение логистической системы на бесконечно малом временном интервале, можно перейти от конечно-разностного описания динамики логистических процессов к описанию с помощью дифференциальных уравнений. С определенными допущениями (обычно оговариваемыми в экономико-математической литературе) это возможно, т.к. рассматриваются изменения экономических показателей и осуществляется анализ их предельных значений. В данном случае дифференциальное исчисление не только аппарат, позволяющий находить решения моделей экономической динамики логистических систем, но и необходимый элемент их построения.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках государственного задания Федерального агентства железнодорожного транспорта (Росжелдор) на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения. Проект «Проектирование ресурсосберегающей транспортно-логистической системы в экономике субъектов РФ». Интернет-номер / Регистрационный номер: 124040300020-8.

Список литературы

1. Лопатников А.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. – М.: Дело, 2013. – 520 с.

2. Эггертссон Трауинн. Экономическое поведение и институты. –М.: Дело, 2001. – 498 с.
3. Афанасьева Н.В. Логистические системы и российские реформы. - СПб.: Изд-во С.-Петербург, ун-т экономики и финансов, 1995. - 250 с.
4. Канторович Л. Экономика и оптимизация. – М.: Наука, 1990.
5. Львов Д.С. Эффективное управление техническим прогрессом. – М.: Экономика, 1990.
6. Бард И. Нелинейное оценивание параметров. - М.: Статистика, 1979.-240 с.
7. Бартини Р.Л. Некоторые соотношения между физическими величинами. - ДАН СССР, 1965, № 4, с. 861-864 с.
8. Неруш, Ю. М. Транспортная логистика : учебник для вузов / Ю. М. Неруш, С. В. Саркисов. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 351 с.
9. Агейкин А.М. Развитие направления перевозок сборных грузов на рынке инновационной логистики // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. 2022. № 1 (39). С. 63-66.
10. Антипенко В.С., Бабич Н.С., Бабич М.Д., Касименко Л.М. Логистика управления запасами на машиностроительном предприятии // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 1. С. 37-42.

References

1. Lopatnikov A.I. Economic and mathematical dictionary: Dictionary of modern Economics. – M.: Delo, 2013. – 520 p.
2. Eggertsson Trauinn. Economic behavior and institutions. –M.: Delo, 2001. – 498 p .
3. Afanasyeva N.V. Logistic systems and Russian reforms. - St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg, University of Economics and Finance, 1995. - 250 p.
4. Kantorovich L. Economics and optimization. – M.: Nauka, 1990.
5. Lvov D.S. Effective management of technical progress. – M.: Economics, 1990.
6. Bard I. Nonlinear parameter estimation. - M.: Statistics, 1979.-240 p.
7. Bartini R.L. Some relations between physical quantities. - DAN USSR, 1965, No. 4, pp. 861-864 p.
8. Nerush, Yu. M. Transport logistics : textbook for universities / Yu. M. Nerush, S. V. Sarkisov. — Moscow : Yurait Publishing House, 2024. — 351 p.
9. Ageikin A.M. Development of the direction of transportation of combined cargoes in the market of innovative logistics // Actual problems and prospects of economic development: Russian and foreign experience. 2022. No. 1 (39). pp. 63-66.
10. Antipenko V.S., Babich N.S., Babich M.D., Kasimenko L.M. Logistics of inventory management at a machine-building enterprise // Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences. 2022. No. 1. pp. 37-42.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чеботарев Станислав Стефанович, д.э.н., профессор, главный научный сотрудник, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия. , e-mail: StSt57@yandex.ru

Stanislav S. Chebotarev, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod,Russia.

Хайтбаев Валерий Абдурахманович, д.э.н., профессор, профессор, Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара, Россия. E-mail:vhaitbaev21@mail.ru

Valery A. Khaitbaev, Doctor of Economics, Professor, Professor, Samara State University of Railway Engineering, Samara, Russia.

Бутченко Виктор Викторович, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия, Vvb1977@rambler.ru

Viktor V. Butchenko, postgraduate student, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia.

Статья поступила в редакцию 17.07.2024; опубликована онлайн 20.09.2024.
Received 17.07.2024; published online 20.09.2024.