УДК 519.2:658.7

В. А. ПОПОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОМПОЗИЦИИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗВЕНЬЕВ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается актуальная задача в логистической цепочке с целью определения интегральных показателей (стоимости, времени) на основе знания указанных параметров для отдельных звеньев в случае вероятностной трактовки отдельных составляющих. Для заданных законов распределения параметров звеньев решается конкретная задача композиции случайных величин в случае их равномерного распределения при разных диапазонах. С целью получения решений для плотностей и функций распределения предлагается графоаналитический метод, на основе которого можем найти графическое и аналитическое представления для суммы и разности двух случайных величин в общем случае для различных диапазонов изменения каждой величины. Приводится числовой пример определения в виде графического и аналитического решения для плотности и функции распределения.

Ключевые слова: *логистическая цепочка звеньев, закон распределения, равномерное распределение, плотность и функции распределения, графоаналитический метод.*

Введение и постановка задачи

При анализе логистических систем возникают важные задачи их анализа и в, частности, определения интегрированных параметров, когда система представляется в виде последовательной цепочки поставок [1, 2]. В этом случае может быть поставлена задача определения суммарной длительности или стоимости выполнения всех работ, когда известны законы распределения указанных выше параметров в виде опытных данных или аналитических зависимостей для плотностей распределения на каждом звене логистической цепи [3 - 5].

Для решения указанной задачи можно применить два метода [4, 5]:

1) при аналитически заданных плотностях распределения необходимо найти их композицию прямым аналитическим методом, применением интеграла свертки, характеристических функций и другими подобными методами;

2) с применением универсальной программы, которая позволяет осуществлять генерацию случайных величин для заданного закона распределения и затем получения статистических данных, на основе которых можно вычислить все основные характеристики итогового распределения.

В данной работе предлагается графоаналитический метод задачи композиции случайных величин, которые имеют равномерный закон распределения, когда каждый закон имеет некоторый диапазон изменения параметра отдельного звена логистической последовательности цепи [4, 5].

1. Основная графическая модель

Рассмотрим задачу определения композиции двух случайных величин, которые имеют свои конкретные законы распределения в смысле их диапазонов. В ряде источников рассматривается подобная задача с одинаковыми диапазонами для произвольного числа звеньев логистической системы или числа параметров как случайных величин. Для каждого частного случая с различными диапазонами можно применить интеграл свертки или метод характеристических функций. На основе изучения большого числа частных случаев можно сформулировать следующее **Утверждение** - *плотность распределения для композиции двух случайных величин с различными диапазонами и равномерными законами распределения графически представляется в виде равнобочной трапеции, где верхнее основание имеет величину, равную разности диапазонов исходных случайных величин.*

Пусть первая величина x_1 имеет диапазон $[a, b]$, вторая x_2 имеет диапазон $[c, d]$. Разность диапазонов при $(a-b) \neq (c-d)$ не равна нулю. Рассмотрим случай $(b-a) > (d-c)$. С учетом рис.1 можно определить, что $PR = (b-a) - (d-c)$, что дает возможность найти высоту трапеции $h = \dfrac{1}{b-a}$. Так как график рис. 1 симметричный, то $FM = MN = \dfrac{1}{2} PR$. Координаты точек на оси

$E = a + c, F = a + d, N = b + c, K = b + d.$ Тогда не трудно найти среднее значение в точке

$$M = \frac{1}{2}(a + b + c + d),$$

$$ON = OF + PR = (a + d) + b - a - d + c = b + c.$$

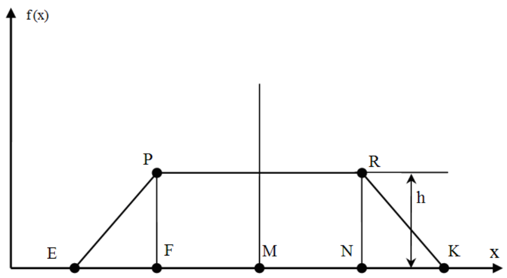

Рис. 1. График плотности распределения композиции двух равномерно распределенных случайных величин с различными диапазонами

3. Определение плотности распределения

Зная координаты точек E, K, P и R можно найти уравнения для отрезков EP и RK, что можно сделать либо с помощью угловых коэффициентов, для чего нужно определить углы PEF либо RKN.

Однако нам представляется лучше находить уравнения линий, которые включают отрезки RK и EP, при помощи метода, использующего координаты двух точек $\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$. Откуда можно найти:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1. \qquad (1)$$

В данном случае на основе соотношения (1) нетрудно записать уравнение для линий, включающих отрезки EP и RK.

С учетом обозначений на рис. 1 для линий с отрезками EP получим $x_1 = a + c$, $x_2 = a + d$, $y_1 = 0$, $y_2 = \frac{1}{h}$. Подставляем эти данные в формулу (1) и получим:

$$y = \frac{(x - (a + c))\frac{1}{b - a}}{(a + d) - (a + c)} \to y = \frac{(x - a - c)\frac{1}{(b - a)}}{(a + d) - (a - c)} =$$

$$= \frac{(x - a - c)(\frac{1}{b - a})}{(d - c)} = \frac{(x - a - c)}{(d - c)(b - a)}.$$

Подобным образом можно получить уравнение для правой стороны трапеции $x_1 = b + c$, $x_2 = b + d$, $y_1 = h$. $y_2 = 0$:

$$y = \frac{(x - b - c)(\frac{1}{b - a})}{b + d - b - c} = \frac{(-x + b + c)}{(d - c)(b - a)} + \frac{1}{(b - a)}.$$

Окончательно получим:

$$y = \frac{(-x + b + c) + (d - c)}{(b - a)(d - c)} = \frac{-x + b + d}{(b - a)(d - c)}.$$

Таким образом, можно определить функции плотности распределения композиции (сложения) двух случайных величин с равномерным законом распределения и разными интервалами $x_1 \in [a, b]$, $x_2 \in [c, d]$, $[a, b] \neq [c, d]$, $|(b - a)| > |(d - c)|$:

$$f(x) = 0, \ x < (a + c),$$

$$f(x) = \frac{x - a - c}{(d - c)(b - a)}, \ a + c \le x \le a + d, \qquad (2)$$

$$f(x) = \frac{1}{b - a}, \ a + d \le x \le b + c, \qquad (3)$$

$$f(x) = \frac{b + d - x}{(d - c)(b - a)}, \ b + c \le x \le b + d, \qquad (4)$$

$$f(x) = 0, \ x > b + d.$$

4. Определение функции распределения

Определим функции распределения на соответствующих участках (рис. 1).

На участке $[a + c, a + d]$:

$$F_1 = \int_{a+c}^{x} f(x)\,dx = \int_{a+c}^{x} \frac{x - a - c}{(d - c)(b - a)} = \frac{x^2 - (a + c)^2}{2(d - c)(b - a)} -$$

$$- \frac{2(a + c)\,x}{2(d - c)(d - a)} + \frac{2(a + c)^2}{2(d - c)(b - a)}.$$

После преобразования получим:

$$F_1(x) = \frac{(x - a - c)^2}{2(b - a)(d - c)},$$

$$a + c \le x \le a + d.$$

На участке $[a + d, b + c]$:

$$F_2(x) = \int_{a+d}^{x} f(x)\,dx = \int_{a+d}^{x} \frac{1}{b - a}dx = \frac{1}{b - a} x \Big|_{a+d}^{x} =$$

$$= \frac{1}{b - a}(x - a - d), a + d \le x \le b + c.$$

Полученный результат не учитывает начального значения $F_2(x)$ в точке $(a + d)$. С учетом $F_{2нач}(x) = F_1(x)$ в точке $(a + d)$ получим:

$$F_2(x) = \frac{d - c}{2(b - a)} + \frac{1}{b - a}x - \frac{a + d}{b - a},$$

где

$$F_1(a + d) = \frac{(a + d - (a + c))}{2(b - a)(d - c)} = \frac{d - c}{2(b - a)} = F_2(a + d).$$

На участке $[b+c, b+d]$:

$$F_3(x) = \int_{b+c}^{x} \frac{b+d-x}{(b-a)(d-c)} dx = \frac{(b+d)x-(b+c)(b+d)}{(b-a)(d-c)} -$$

$$-\frac{x^2-(b+c)^2}{2(b-a)(d-c)} = 1 - \frac{((b+d)-x)^2}{2(b-a)(d-c)}$$

с учетом начального значения в точке $(b+c)$ получим $F_3(b+c) = F_2(b+c) = 1 - \frac{d-c}{2(b-a)}$.

Таким образом, можно записать следующее выражения для функции распределения на соответствующих участках:

$$F_1(x) = \frac{(x-(a+c))^2}{2(b-a)(d-c)}, \quad a+c \le x \le a+d, \qquad (5)$$

$$F_2(x) = \frac{x-(a+d)}{b-a} + \frac{d-c}{2(b-a)}, \quad a+d \le x \le b+c, \qquad (6)$$

$$F_3(x) = 1 - \frac{((b+d)-x)^2}{2(b-a)(d-c)}, \quad b+c \le x \le b+d. \qquad (7)$$

В соответствии с полученными выражениями можно изобразить график (рис. 2):

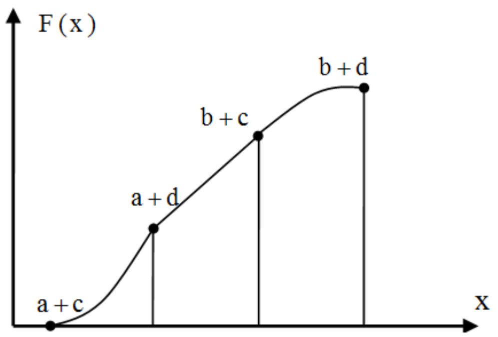

Рис. 2. График функции распределения композиции двух равномерно распределенных случайных величин с различными диапазонами

Таким образом, функция распределения имеет три участка:

1) первый участок $a+c \le x \le a+d$ и сама функция представляет собой параболу с вершиной в точках $a+c$ с правой ветвью, идущей вверх;

2) второй участок функции распределения - линейный в соответствии с формулой (3), где $F_1(a+d) = F_2(a+d)$ и соответствующие производные равны в точке $a+d$ равны, то есть $F_1'(a+d) = F_2'(a+d)$;

3) третий участок $b+c \le x \le b+d$ соответствует формуле (4) и представляет собой параболу с вершиной в точке $b+d$ и левой ветвью соединенной с прямой линией на предыдущем участке. Здесь также $F_2(b+c) = F_3(b+c), F_2'(b+c) = F_3'(b+c)$.

5. Алгоритм композиции случайных параметров последовательной логистической цепи

1. Провести описание и анализ логистической последовательности цепи с целью определения суммарного общего, по всем звеньям, показателя по стоимости или времени в вероятностном аспекте.

2. Обосновать и выбрать конкретный показатель критерия эффективности логистического процесса, который складывается из параметров отдельных звеньев.

3. Принимаем закон распределения ранее выбранного показателя равномерный, определим границы изменения на каждом звене $x_1 \in [a, b]$, $x_2 \in [c, d]$, так что $|(b-a)| \ne |(d-c)|$.

В случае, когда $|(b-a)| = |(b-c)|$ получается существенное упрощение задачи, так как закон распределения суммы будет иметь треугольное представление (закон Симпсона).

4. Изобразить основную графическую модель (рис.1), на которой слева направо обозначить результат композиции по переменной $x = x_1 + x_2$. Самая левая точка имеет $x = a+c$, то есть $\min[a,b] + \min[c,d]$.

Подобным образом находим правую точку $x = b+d$, то есть $\max[a,c] + \max[b,d]$. Затем изображаем на оси x точки $(a+c)$ и $(b+c)$.

5. Найти средину (математическое ожидание) всего графика (трапеции) $\frac{a+b+c+d}{2}$. Провести вертикальную линию, которая играет важную роль при вычислении элементов основной графической модели (рис.1).

6. Найти разность интервалов $|(b-a)| - |(d-c)| = \Delta$, что означает длину верхней линии PR.

7. Находим высоту трапеции $h = \frac{1}{b-a}$ из очевидного соотношения $((b+c)-(a+c)) \bullet h = 1$, что соответствует определению плотности распределения.

8. Изобразить полностью всю трапецию (рис.1), так как высота и величина линии PR известны из предыдущих шагов.

9. Зная все координаты точек E, F, M, N, R, P находим уравнения линий, включающих отрезки PE и RK с применением любого известного метода (например, метод использующий координаты двух точек) с использованием полученных ранее формул $F_1(x)$ на участке $(a+c, a+d)$, $F_2(x)$ на участке

$(a+d, b+c)$ и $F_3(x)$ на участке $(b+c, b+d)$. Получим уравнения с использованием чисел, которые дают возможность изобразить весь график (рис.1).

10. На основании полученных выше формул для функций распределения необходимо подставить числовые данные в расчетные формулы и получить аналитическое выражение функции распределения для соответствующих участков.

Функция распределения $F_1(x)$ на участке $(a+c, a+d)$ представляет собой параболу, с правой ветвью, идущей снизу вверх, а вершина находится в точке $(a+c)$, то есть в точке E. Прямая выходящая из точки $(a+d)$ до точки $(b+c)$ должна быть объединена с правой ветвью параболы F_1, а верхняя точка с абсциссой $(b+c)$ должна иметь плавный переход к параболе, которая описывается кривой $F_3(x)$, то есть на интервале $[a+d]$ до $[b+c]$ функция имеет вид прямой линии. Функция распределения на участке $(b+c)$ до $(b+d)$ представляет собой, как и функция $F_1(x)$, параболу, которая имеет вершину с абсциссой равной $(b+c)$, а ордината равна единице, что соответствует уравнению для функции распределения.

11. Провести контроль правильности построенных функций $f_1(x)$, $f_2(x)$ и $f_3(x)$ и функций распределения $F_1(x)$, $F_2(x)$ и $F_3(x)$ на основании того, что площадь под кривой плотности распределения равна единице, а значения функции распределения в точках с абсциссами $(a+d)$ и $(b+c)$ должны быть равными в соответствии с уравнениями (2-7) с учетом начального значения для каждого участка.

Для функции $F_1(x)$ численное значение равно площади треугольника EFP с учетом начального значения, равного нулю. Значение функции $F_2(x=b+c)$ будет учитывать начальное значение в виде площади треугольника EFP. Начальное значение для функции $F_3(x)$ равно сумме площадей треугольника EFP и прямоугольника PRNF, а значение функции $F_2(x=b+c)$ и $F_3(x=b+c)$ будет равно единице без площади треугольника EFP.

6. Упрощенный алгоритм композиции случайных параметров последовательной логистической цепи

Плотность распределения, как и в предыдущем случае, определяется по известным формулам для плотности распределения на участках $[a+c, a+d]$, $[a+d, b+c]$, $[b+c, b+d]$.

Однако, при упрощенном построении функции распределения, на указанных выше участках, можно применить не параболические зависимости (на первом и третьем участках трапеции) а линейные, в точках от $[a+c]$ до $[a+d]$ и в точках от $[b+c]$ до $[b+d]$.

Так как значения функции распределения вычислены совершенно точно в точках $[a+d]$, $[b+c]$, $[b+d]$, то в этом случае будут погрешности, за счет замены параболической зависимости на участке от $[a+c]$ до $[a+d]$ и на участке от $[b+c]$ до $[b+d]$ (рис. 3).

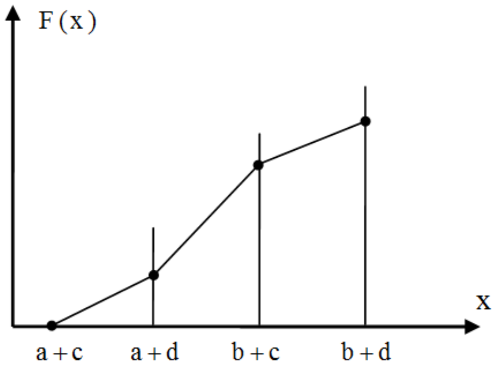

Рис. 3. График функции распределения при линейных функциях на отдельных участках

Однако такой способ существенно упрощает построение функции распределения и не требует применения аналитических выражений. Поэтому в приближенном способе можно рекомендовать:

1) построение по заданным конкретным числовым данным графика плотности распределения;

2) построение на основе графика для плотности функции распределения, где также не требуется применять какие либо формулы.

Поэтому для экспресс-анализа можно рекомендовать проводить анализ функций логистической цепи из двух звеньев без применения формульных выражений и использовать графическое представление плотности функции распределения

$$F_1(x=a+d) = \frac{d-c}{2(b-a)} = F_2(x=a+d),$$

$$F_2(x=b+c) = F_3(x=b+c) = 1 - \frac{d-c}{2(b-a)},$$

$$F_3(x=b+d) = 1.$$

7. Численный пример применения графоаналитического метода для двухзвеньевой логистической цепи

Рассмотрим логистическую систему в виде последовательной цепочки двух звеньев, каждая из которых формально представляется плотностью распределения вероятностного параметра. Требуется определить суммарную плотность распределения путем композиции двух случайных величин x_1 и x_2 которые имеют равномерный закон распределения в соответствии с интервалами $x_1 \in [a,b]$, $x_2 \in [c,d]$.

Пусть $a=0$, $b=5$, $c=1$, $d=4$, среднее значение $m=\frac{5+1+4}{2}=5$, $(b-a)>(d-c)$, $5>3$ (рис. 4).

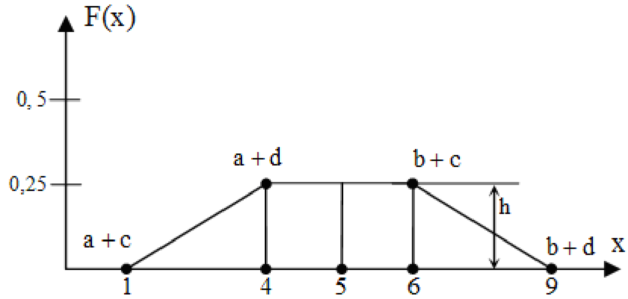

Рис. 4. График плотности распределения для заданных числовых данных

$$h=\frac{1}{b-a}=\frac{1}{5}=0,2.$$

Разность интервалов:

$$(b-a)-(d-c)=5-3=2.$$

Сумма площадей под ломаной плотностью распределения $f(x)$ состоит из трех частей:

$$S_1=\frac{h(a+d-a-c)}{2}=\frac{1\cdot(d-c)}{2(b-a)}=\frac{4-1}{2(5-0)}=\frac{3}{10}=0,3;$$

$$S_2=h\cdot((b-a)(d-c))=\frac{1}{5-0}(5-0-4+1)=\frac{2}{5}=0,4;$$

$$S_3=\frac{h\cdot(b+d-b-c)}{2}=\frac{d-c}{2(b-a)}=\frac{3}{2\cdot 5}=0,3;$$

$$S_\Sigma=S_1+S_2+S_3=0,3+0,4+0,3=1.$$

Выражения для плотностей распределения на соответствующих участках:

$$f_1(x)=\frac{x-a-c}{(b-a)(d-c)}=\frac{x-0-1}{(5-0)(4-1)}=\frac{x-1}{5\cdot 3}=\frac{x-1}{15},$$

$$(a+c=0+1)\le x\le(a+d=0+4);$$

$$f_2(x)=\frac{1}{b-a}=\frac{1}{5-0}=\frac{1}{5}=0,2,$$

$$((a+d)=0+4)\le x\le((b+c)=5+1);$$

$$f_3(x)=\frac{b+d-x}{(b-a)(d-c)}=\frac{5+9-x}{5\cdot 3}=\frac{14-x}{15},$$

$$(b+c=5+1=6)\le x\le(b+d=5+4=9).$$

Теперь построим график функции распределения на соответствующих участках (рис. 5). На участке $[a+c,a+d]$:

$$F_1(x)=\frac{(x-(a+c))^2}{2(b-a)(a-c)}=\frac{(x-1)^2}{2(5-0)(4-1)}=\frac{(x-1)^2}{30}.$$

В точке $a+d=0+4=4$ функции

$$F_1(x)=\frac{(4-1)^2}{30}=\frac{3^2}{30}=\frac{9}{30}=\frac{3}{10}.$$

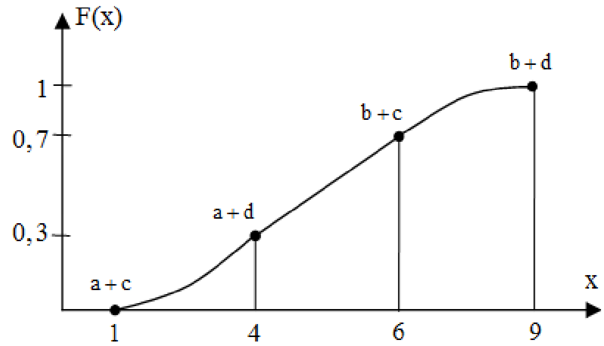

Рис. 5. График функции распределения для заданных числовых данных

На участке $[a+d,b+c]$:

$$F_2(x)=\frac{x-a-d}{b-a}+\frac{d-c}{2(b-c)}=\frac{x-0-4}{5-0}+\frac{4-1}{2(5-0)}=$$

$$=\frac{x-4}{5}+\frac{3}{10}=\frac{2x-8+3}{10}=0,2x-0,5;$$

$$F_2(x=a+d)=F_2(x=4)=0,8-0,5=0,3;$$

$$F_2(x=b+c)=F_2(x=6)=0,2\cdot 6-0,5=1,2-0,5=0,7.$$

На участке $[b+c,b+d]$ [6, 9]:

$$F_3=1-\frac{(b+d-x)^2}{2(b-d)(a-c)}=1-\frac{(5+4-x)^2}{2(5-0)(4-1)}=$$

$$=1-\frac{(9-x)^2}{2\cdot 5\cdot 3}=1-\frac{(9-x)^2}{30};$$

$$F_3(x=b+c)=1-\frac{(9-6)^2}{30}=1-0,3=0,7.$$

С помощью упрощенного алгоритма не трудно для данного примера построить функцию распределения (рис. 6).

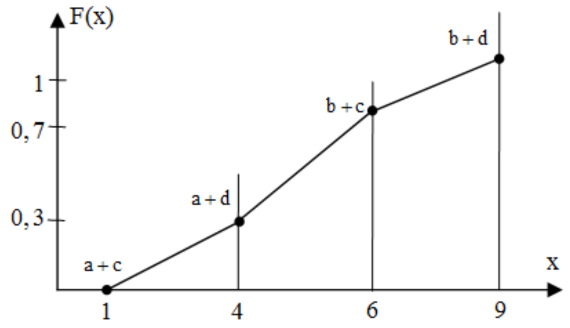

Рис. 6. График функции распределения построенный упрощенным методом

Заключение

В данной работе предложен графоаналитический метод решения задачи композиции случайных параметров для двух звеньев последовательной цепи, имеющих равномерный закон распределения и разные диапазоны изменения.

В случае равенства интервалов $[b-a]=[d-c]$ получаем в результате закон Симпсона, то есть график плотности распределения имеет вид равнобедренного треугольника, что является частным случаем трапеции, когда точки P и R (рис. 1) совпадают.

При построении графика функции распределения используется парабола на первом и третьем участках и прямая линия на втором участке.

Для процесса контроля правильности проведенных графических и аналитических построений должны существовать соотношения:

1) $F_1(a+d)=F_2(a+d)$;

2) $F_1'(a+d)=F_2'(a+d)$;

3) $F_2(b+c)=F_3(b+c)$;

4) $F_2'(b+c)=F_3'(b+c)$.

Указанные выражения позволяют утверждать, что стыковка прямой линии на участке FN осуществляется правильно, так как в точках с абсциссами F и N для выражений функции распределения получим равенство значений соседних фрагментов функции распределения, как по количественному значению, так и по значению производных в точках соприкосновения прямой линии и параболы.

В случае операции вычитания процесс решения остается таким же, как и в случае сложения, построение графиков будет таким же, но математическое ожидание будет равно:

$$m=\frac{a+b-(d+c)}{2}.$$

Таким образом, предлагаемый графоаналитический метод позволяет находить графически плотности и функции распределения для композиции двух равномерно распределенных величин при сложении и вычитании, при разных диапазонах исходных величин. В случае необходимости нетрудно определить аналитические выражение для всех участков трапеции с учетом конкретных числовых значений, что позволяет заметно уменьшить трудоемкость определения всех вероятностных характеристик суммы или разности исходных случайных величин.

Литература

1. *Бауэрсонс, Д. Логистика. Интегрированная цепь поставок [Текст] / Д. Бауэрсонс. Д. Клосс. – 2-е изд. – М. : ЗАО «Олимп Бизнес», 2008. − 640 с.*

2. *Современная логистика [Текст] / Даниель Л. Вордлоу, Дональд Ф. Вуд, Д. Джонсон, Поль Р. Мердж. – 7-е изд. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2005. – 624 с.*

3. *Саати, Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения [Текст] / Л. Саати. – 3-е изд. – М. : Изд. «Либроном», 2010. – 520 с.*

4. *Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – 11-е изд. – М. : «КноРус», 2010. – 480 с.*

5. *Вентцель, Е. С. Задачи и упражнения по теории вероятности [Текст] / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчарев. – 8-е изд. – М. : «КноРус», 2010. – 496 с.*

6. *Кристофер, М. Логистика и управление цепочками поставок [Текст] / М. Кристофер ; под общ. ред. В. С. Лужинского. – СПБ. : «Питер», 2004. – 316 с.*

7. *Лебедев, Ю. Г. Логистика: теория гармонизированных цепей поставок [Текст] / Ю. Г. Лебедев. – М. : МГТУ им. М. Э. Баумана, 2005. − 256 с.*

8. *Мирошник, Л. Б. Логистика интегрированных цепочек поставок [Текст] : учебник / Л. Б. Мирошник, А.Г. Некрасов. – М. : «Экзамен», 2003. − 256 с.*

9. *Шапиро, Дж. Моделирование цепи поставок [Текст] : пер. с англ. / Дж. Шапиро ; под ред. В.С. Лужинского. – СПБ. : «Питер», 2006. − 720 с.*

Поступила в редакцию 12.03.14, рассмотрена на редколлегии 11.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры И. П. Гамаюн, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

ГРАФОАНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД КОМПОЗИЦІЇ ЙМОВІРНІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАНОК ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

В. О. Попов

Розглядається актуальне завдання в логістичному ланцюжку з метою визначення інтегральних показників (вартості, часу) на основі знання зазначених параметрів для окремих ланок у випадку ймовірнісного трактування окремих складових. Для встановленних законів розподілу параметрів ланок вирішується конкретна задача композиції випадкових величин у разі їх рівномірного розподілу у різних діапазонах. З метою отримання рішень для щільності і функцій розподілу пропонується графоаналітичний метод, на основі якого можемо знайти графічне і аналітичне представлення для суми і різниці двох випадкових величин в загальному випадку для різних діапазонів зміни кожної величини. Пропонується числовий приклад визначення у вигляді графічного і аналітичного рішення для щільності та функції розподілу.

Ключові слова: логістичний ланцюжок ланок, закон розподілу, рівномірний розподіл, щільність і функції розподілу, графоаналітичний метод.

A GRAPHIC ANALYTICAL METHOD TRACK PROBABILISTIC PARAMETERS LINKS LOGISTICS SYSTEMS

V. A. Popov

Considered an urgent task in the supply chain to determine the integral in indicators (cost, time) based on the knowledge of these parameters for the individual links in the slu-case probabilistic treatment of the individual components. For a given distribution laws of the parameters of links to solve specific problems of the composition of the random variables in the case of uniform distribution at different ranges. In order to obtain solutions for the density and distribution functions-division graphic-analytical method is proposed, based on which we can find a graphical and analytical representation for the sum and difference of two random variables in the general case for the time-range of personal change each value. We present a numerical example of defining a graphical and analytical solutions for the density and distribution functions.

Keywords: supply chain links, the law of distribution, uniform distribution, density and distribution functions, graphic-analytical method.

Попов Вячеслав Алексеевич – канд. техн. наук, проф., проф. каф. «Информационные управляющие системы», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: k302@d3.khai.edu.