

## СОБЫТИЙНЫЙ АНАЛИЗ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЦЕНЗУРИРОВАНИЯ

### EVENT-BASED ANALYSIS OF LOGISTICS OPERATIONS AND PROCESSES BASED ON CENSORING

**Енаев А. А.**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,

**Симоненко А. И.**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,

<sup>1</sup> Псковский государственный университет, г. Псков, Россия

<sup>2</sup> Национальный технический университет

«Днепровская политехника», г. Днепр, Украина

A. Enaev<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Prof.,

A. Simonenko<sup>2</sup>, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

<sup>1</sup> Pskov State University, Pskov, Russia

<sup>2</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

*В статье рассматриваются вопросы оценки качества функционирования логистических цепочек на основе анализа функции выживания.*

*The article discusses the issues of assessing the quality of functioning of supply chains based on the analysis of the survival function.*

**Ключевые слова:** логистические заказы, функция выживания, цензурирование, априорная и апостериорная неопределенности.

**Keywords:** logistic operations, survival function, censoring, a priori and posterior uncertainties.

## ВВЕДЕНИЕ

Для экономических субъектов хозяйствования проблема совершенствования управления логистическими процессами в цепях поставок всегда носила актуальный характер. В концептуальном плане одно из ключевых направлений развития логистики базируется на принципе «конкуренция на основе фактора времени», что объясняется, прежде всего, необходимостью повышения оперативности реагирования на потребности клиентов [1–3]. Известны различные подходы, основанные на факторе времени: методы сетевого планирования (план-графики и модели критического пути), система «точно в срок», методики быстрого реагирования и управления границами

времени заказа, модели динамических логистических цепочек, оперативное планирование в режиме реального времени и пр. Во всех этих моделях фактор времени в аспекте «своевременность» рассматривается как важнейший элемент оценки организованности (неорганизованности) и надежности логистических цепочек, процессов, логистической системы в целом.

## АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ И РЕАЛИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Эффективность логистической системы как системы массового обслуживания характеризуется вероятностью успеха выполнения логистических операций при заданных критериях оптимальности. Вероятность эффективного осуществления логистических процессов в первую очередь зависит от априорного знания возможностей логистических каналов и цепочек, что можно охарактеризовать априорной, т. е. до наступления исхода случайных событий, неопределенностью (энтропией). А во-вторых, от фактической реализации логистических операций, которая в значительной степени зависит от имманентных интересов участников логистических цепочек и воздействия «внешней среды». В этом случае речь идет об апостериорной неопределенности (энтропии) [4].

Таким образом, качество функционирования логистической цепочки можно охарактеризовать условной вероятностью  $p(B_j / A_i)$ ,  $j = 1, \dots, n$ ;  $i = 1, \dots, m$ : когда в определенный момент времени при планируемом выполнении заказа  $A_i$ , реально в логистическом канале реализуется заказ  $B_j$  с вероятностью  $B_j / A_i$ .

Одним из подходов оценки вероятностных параметров логистических процессов может выступать событийный анализ на основе функции «выживания» с использованием цензурирования. Анализ на основе функции «выживания» широко используется в различных сферах деятельности человека, например, в технике, демографии, банковской деятельности [6–8].

При цензурировании рассматриваются модели анализа данных, которые имеют следующие характеристики. Во-первых, это отклик – время  $t_j$  ожидания до наступления определенного события. Во-вторых, наблюдения являются цензурированными, т. е. для  $k$  наблюдений из общего количества  $n$  могут быть известны точные значения  $(\xi_1, \dots, \xi_k)$  событий, а для остальных известно только то, что время

«жизни» объекта не менее  $t_j$ :  $\{ \xi_i > t_j \}$ ,  $i = k + 1, \dots, n$  при данном уровне цензурирования  $t_j$ .

В большинстве случаев непараметрическая оценка «выживания» событий осуществляется на основе процедуры Каплана – Майера [5]. Функция вероятности имеет вид:

$$S_j(t) = \prod_{j=1}^n \left[ (n-j) / (n-j+1) \right]^{\delta_j}, \quad (1)$$

где  $S_j(t)$  – оценка функции «выживания» после  $j$ -го события;

$\delta_j$  – индикатор ( $\delta_j = 1$  если  $j$ -е событие наступило;  $\delta_j = 0$  если  $j$ -е событие не завершилось или о нем нет необходимых сведений, то есть событие является цензурированным);

$t_j$  – время до момента наступления  $j$ -го события или  $j$ -го цензурирования;

$n$  – общее количество событий, которые анализируются.

Таким образом, функция «выживания»  $S_j(t)$  позволяет количественно определить вероятность того, что исследуемое событие, в нашем случае завершение некоторой совокупности логистических операций, не настало на момент времени  $t$ . Другими словами, под вероятностью «выживания» подразумевается вероятность *невыполнения* всех заказов к определенному моменту времени, а функция  $(1 - S_j(t))$ , соответственно, представляет собой вероятность *выполнения* всех заказов.

С целью повышения эффективности обслуживания клиентов в одном из логистических центров г. Днепра был выполнен анализ процессов организации и реализации логистических процедур, прежде всего путем контроля временных параметров формирования, отправления и доставки грузовых единиц заказов клиентам. Объектами контроля были многочисленные логистические операции, рабочие места, грузовые единицы и, как следствие, конкретные заказы клиентов.

Формальные параметры одного из фрагментов наблюдений и анализа: выбор объектов – случайный; каждый заказ – независимый объект, однако логистические операции в пределах заказа взаимосвязаны; количество  $j$  заказов – 19 (условное обозначение А, В, С... У;  $j = 1 \dots 19$ ); продолжительность наблюдений – в течении фиксиро-

ванного времени (двое суток, 47 часов); цензурирование осуществлялось в момент планового (договорного) выполнения заказов (всего было выделено четырнадцать моментов – 10, 16, 18 ... 25 ... > 47 часов); событие – момент доставки клиенту последнего комплекта грузовых единиц.

В табл. 1 и на рис. 1 представлены результаты оценки логистических событий на основе процедуры цензурирования.

Таблица 1 – Результаты анализа заказов на основе цензурирования

Время $t_j$ , часов	Количество выполняемых заказов $n$	Количество выполненных заказов ( $\delta_j = 1$ )	Количество цензурированных заказов ( $\delta_j = 0$ )	Вероятность $S_j(t)$ , %
0	19			100,0
10	19	1 (заказ А)		94,7
16	18	1 (заказ С)		89,5
18	17		2 (заказы В, D)	89,5
20	17		1 (заказ F)	89,5
20	17	1 (заказ E)		84,2
22	16		1 (заказ G)	84,2
23	16		3 (заказы H, K, L)	84,2
23	16	1 (заказ В)*		78,9
25	15		1 (заказ N)	78,9
25	15	1 (заказ M)		73,7
25	14	1 (заказ F)*		68,4
26	13		2 (заказы Q, P)	68,4
28	13		1 (заказ O)	68,4
28	13	1 (заказ G)*		63,2
30	12	1 (заказ R)		57,9
30	11	3 (заказы P, H, N)*		42,1
33	8	1 (заказ S)		36,8
33	7	3 (заказы K, O, D)*		21,1
41	4	2 (заказы T, L*)		10,5
47	2	1 (заказ U)		5,3
> 47	1		(заказ Q)**	5,3

\* – завершение ранее цензурированных заказов;

\*\* – на момент завершения наблюдений один из заказов остался невыполненным.

Как видно из приведенных данных, наблюдается существенный уровень неорганизованности выполнения логистических заказов. Например, в середине периода наблюдения (к исходу 25-го часа) при 36,8 % априорной вероятности невыполнения заказов, фактические значения вероятности невыполнения заказов оставались на уровне

68,4 %. Максимальное рассогласование, определяемое соотношением апостериорной и априорной неопределенностей, достигала 0,7 (на основе натурального логарифмирования) единиц, а совокупная условная энтропия – 3,334 единицы.

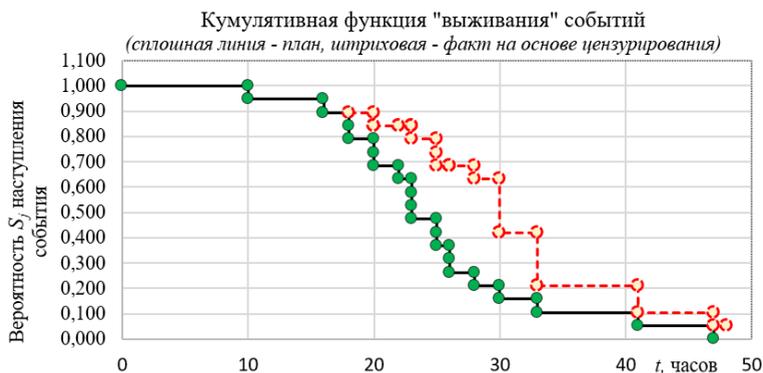


Рисунок1 – Кумулятивная функция событий выполнения логистических заказов

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модель оценки надежности функционирования логистических цепочек позволяет фактически в режиме реального времени на основе априорной и апостериорной информации принимать оперативные решения с целью поддержания необходимого уровня качества обслуживания клиентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Современная логистика / Дж. Джонсон [и др.]; пер. с англ. – 7-е изд. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2002. – 624 с.
2. Харрисон, А. Управление логистикой: разработка стратегий логистических операций / А. Харрисон, Р. Ван Хоук // пер. с англ. под научн. ред. А. Е. Михейцева. – Днепро-ск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – 368 с.
3. Шапиро, Дж. Моделирование цепи поставок / Дж. Шапиро // пер. с англ. под ред. В. С. Лукинського. – СПб. : Питер, 2006. – 720 с.
4. Аоки, М. Введение в методы оптимизации: основы и приложения нелинейного программирования / М. Аоки // пер. с англ. под ред. Б. Т. Поляка. – М. : «Наука», 1977. – 344 с.

5. Rodriguez, G. Survival models / G. Rodriguez // Quantile. – 2008. – № 5. – P. 1–27.

6. Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам / В. М. Скрипник [и др.]. – М. : Радио и связь, 1988. – 188 с.

7. Рапаков, Г. Г. Исследование методов анализа времени до события при обработке демографических данных / Г. Г. Рапаков, В. А. Горбунов // Вестник Вологодск. гос. ун-та. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Вологда : ВГУ, 2015. – № 4. – С. 110–120.

8. Дорогокупец, П. Ю. Моделирование выживаемости банков республики Беларусь / П. Ю. Дорогокупец, А. Б. Гедранович // Экономика и управление. – 2012. – № 4. – С. 43–50.

Представлено 18.05.2024