

Методика расчета показателей надежности поставок в снабжении при нестационарном и дискретном процессе сбоев в поставках

Calculation parameters of delivery reliability in supply with a non-stationary and discrete process of delivery faults

БОЧКАРЕВ А.А.
Д.э.н., профессор

BOCHKAREV A.A.
Dr. Econ. Sci., Professor



БОЧКАРЕВ П.А.
Преподаватель

BOCHKAREV P.A.
Assistant



Департамент логистики и управления цепями поставок
Logistics and Supply Chain Management Department

Национальный Исследовательский Университет «Высшая школа экономики» (Россия, Санкт-Петербург)
National Research University «Higher School of Economics» (St. Petersburg, Russia)

Ключевые слова: логистика снабжения, снабжение, цепь поставок, надежность, сбой поставок, нестационарный процесс, дискретный процесс.

Keywords: logistics supply, delivery, procurement, supply chain, reliability, failure of supply, non-stationary process, discrete process.

АННОТАЦИЯ

В последнее время появились научные труды, в которых предложено методы теории надежности применять к расчету надежности поставок в снабжении. При этом система снабжения рассматривается как восстанавливаемая система, безотказность поставок в процессе снабжения характеризует функция готовности K , а обобщающим показателем надежности поставок является вероятность безотказного снабжения $P(t)$ в данный момент времени в течение всего исследуемого периода $(t, t+\tau)$, которая рассчитывается исходя из предположения, что интенсивность отказов $\lambda(t)$ подчиняется экспоненциальному закону распределения. Представленные в статье результаты проведенного нами исследования показали, что интенсивность отказов $\lambda(t)$, как правило, подчиняется нормальному, а не экспоненциальному закону распределения, а существующие методики расчета показателей надежности поставок в снабжении не учитывают нестационарность и дискретности процесса сбоев в поставках.

В данной статье предложена усовершенствованная методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, позволяющая учесть как нестационарность, так и дискретность процесса сбоев в поставках, следовательно, получить более точные данные, характеризующие надежность поставщиков, и представлены расчеты, подтверждающие эффективность предложенной методики.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение надежности логистической системы целом, а также отдельных ее элементов, наряду с минимизацией логистических издержек является одним из направлений повышения эффективности функционирования логистической системы. Рост числа публикаций, посвященных надежности, устойчивости и безопасности цепей поставок, является свидетельством исключительной актуальности этой проблемы. Анализ много-

ABSTRACT

Recently there have published scientific works, which suggested to apply methods of reliability theory to calculating the delivery reliability in supplies. This supply system is seen as recovery system, reliability of supply are characterized by the availability function K , and general indicator of supply reliability is the probability of failure-free supply $P(t)$ at a given time for the entire study period $(t, t+\tau)$, which is calculated on the assumption that the failure rate $\lambda(t)$ obeys an exponential distribution. The results of our studies show the failure rate $\lambda(t)$, are generally subject to a normal distribution, instead of an exponential distribution. And existing methods of calculating the delivery reliability in supplies do not take into account the non-stationary and discontinuity of supply disruptions.

This paper proposes an improved method of calculating the delivery reliability in supplies, which allows non-stationarity as well as discontinuity of supply disruptions, therefore, more accurate data describing the reliability of suppliers is obtained.

численных публикаций, посвященных методам оценки и повышения надежности цепей поставок, позволяет констатировать, что по аналогии с техническими системами, основными свойствами цепей поставок являются надежность, экономичность и безопасность.

Следовательно, все методы повышения надежности цепей поставок должны рассматриваться с точки зрения трех подходов:

1. технический подход, базирующийся на теории надежности технических систем;
2. экономический подход, подразумевающий оценку надежности цепей поставок на основе логистических издержек, нарушения контрактных обязательств (штрафы и т.п.) или показателей прибыли и рентабельности бизнес-процессов в цепях поставок. Как правило, в основе экономического подхода к повышению надежности цепей поставок лежат методы и математические модели планирования логистических бизнес-процессов в условиях неопределенности;
3. подход, учитывающий безопасность протекания бизнес-процессов в цепях поставок, основанный на теории управления рисками.

Следует отметить, что технический подход к методам оценки и повышения надежности цепей поставок является преобладающим. Данный подход развивается, в частности, в работах А.А. Канке и И.П. Кошевой [1, с. 229-230], Б.К. Плоткина [2, с. 54-60], [3, с. 117-124] и в работах других авторов. Однако анализ этих работ показывает, что применительно к проблеме расчета показателей надежности поставок в снабжении, существующая методика расчета не учитывает нестационарности и дискретности процесса сбоев в поставках, следовательно, нуждается в совершенствовании.

Методика расчета показателей надежности поставок в снабжении

Одной из первых работ, в которой не только предложено методы теории надежности применять к расчету надежности поставок в снабжении, но, и приведен пример практического использования предложенной методики, является работа Б.К. Плоткина [2]. Автор отмечает, что для приложения методов теории надежности к расчету надежности снабжения необходимо определить два основных понятия указанной теории: отказ и восстановление. Под отказом понимается «опоздание партии поставки против установленного срока поступления материальных ресурсов на предприятие или несоответствие количества или комплектности условиям договора поставки», а под временем восстановления понимается длительность опоздания [2, с. 117].

Некомплектная поставка не позволяет использовать продукцию по своему производственному назначению, а поэтому приравнивается к отсутствию поставки, тогда время восстановления будет равно времени до восполнения комплекта.

Отказом в процессе снабжения является недопоставка материалов по количеству, хотя срок поставки был соблюден. В этом случае время восстановления определяется отношением количества недопоставленного материала к величине среднесуточного потребления или «среднесуточной поставки».

Величина среднесуточной поставки определяется по формуле:

$$v = \frac{\sum V}{T}, \quad (1)$$

где $\sum V$ – объем выполненных поставок данного материала за исследуемый период T , например, за год.

Отсюда следует время восстановления:

$$t_b = \frac{\Delta V}{v}, \quad (2)$$

где ΔV – объем недопоставки.

Параметры λ и η однозначно определяют законы распределения времени t безотказного снабжения:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

и времени опоздания t_B поставок:

$$f(t_B) = \eta e^{-\eta t}, \quad (4)$$

Характеристикой надежности также является функция или коэффициент готовности K_r .

Для конкретных условий осуществления процессов материально-технического снабжения функция готовности K_r характеризует безотказность поставок в процессе снабжения.

Функция готовности определяется формулой:

$$K_r = \frac{T - \sum T_{оп}}{T}, \quad (5)$$

где T – исследуемый период, например, год; $\sum T_{оп}$ – суммарное время опозданий в течение периода T .

Функция готовности K_r изменяется от нуля (при $T = \sum T_{оп}$) и до единицы (при $\sum T_{оп} = 0$). Иными словами, при отсутствии опозданий коэффициент готовности поставок равен единице.

Для расчета надежности поставок определяются основные параметры: наработка на отказ T_0 и интенсивность отказов λ .

$$T_0 = \frac{T - \sum T_{оп}}{n}, \quad (6)$$

где T – исследуемый период, как правило, год; $\sum T_{оп}$ – общая длительность всех опозданий, т.е. отказов в процессе снабжения; n – количество отказов-опозданий.

Интенсивность отказов равна:

$$\lambda = \frac{1}{T_0}. \quad (7)$$

Среднее время восстановления:

$$T_B = \frac{\sum T_{оп}}{n}. \quad (8)$$

Интенсивность восстановления:

$$\eta = \frac{1}{T_B}. \quad (9)$$

Перечисленные показатели – наработка на отказ, интенсивность отказов, среднее время восстановления и интенсивность восстановления – взятые в динамике или в сравнении, достаточно полно характеризуют процесс снабжения, позволяют прогнозировать уровень надежности поставок и длительность возможных дефицитных ситуаций.

Обобщающим показателем надежности поставок является вероятность безотказного снабжения в данный момент времени t в течение всего исследуемого периода $T(t, t+\tau)$:

$$P = K_r e^{-\lambda \tau}(t, t+\tau). \quad (10)$$

Расчет надежности поставок ведется в следующем порядке:

- 1) Сопоставляются даты каждой поставки по плану (договору) $D_{пл}$ и фактически $D_{ф}$;
- 2) Определяется время опозданий партий поставок как разность между фактической и плановой датами, т.е. $t_{оп} = D_{ф} - D_{пл}$;
- 3) Сопоставляются объемы каждой партии поставки по плану (договору) $V_{пл}$ фактически $V_{ф}$;
- 4) Определяется величина недопоставки как разность между плановой и фактической партиями поставки, т.е. $\Delta V = V_{пл} - V_{ф}$;
- 5) Определяется величина среднесуточной поставки:

$$v = \frac{\sum V_{пл}}{365}; \quad (11)$$

б) Определяется условное время опозданий в случае недопоставок:

$$t'_{оп} = \frac{\Delta V}{v}; \quad (12)$$

7) Определяется общая величина опозданий:

$$\sum T_{оп} = \sum t_{оп} + \sum t'_{оп}; \quad (13)$$

8) Определяется количество отказов в процессе поставок l ;

9) Определяется наработка на отказ T_0 (см. формулу (6));

10) Определяется интенсивность отказов λ (см. формулу (7));

11) Определяется коэффициент безотказности снабжения K (см. формулу (5));

12) Определяется надежность поставок в снабжении по формуле (10):

$$P = K_r e^{-\lambda t} (0 < P \leq 1)$$

При расчете надежности поставок следует учитывать ряд условий:

- превышение величины партии поставки против плановой не компенсирует нарушение срока поставки;

- в том случае, когда нарушен срок поставки и имеется недопоставка, то считаются два вида опоздания: по дате и вследствие недопоставки;

- если в заданный срок не состоялась поставка, то в этом случае условное опоздание определяется по всему объему не поставленной партии поставки;

- поставки, выполненные ранее планового срока, считаются выполненными в срок.

Рассмотрим пример расчетов поставок по данной методике, взятый из монографии Б.К. Плоткина [2, с. 117-124].

Пример. Рассчитать надежность процесса поставок по данным, представленным в таблице 1.

В таблице 1 рассчитана динамика изменения следующих показателей: функции готовности $K_r(t)$, функции простоя $K_n(t)$, вероятности безотказной работы $P(t)$, интенсивности отказов $\lambda(t)$. На рисунке 1 представлен график динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$, соответствующий экспоненциальному распределению интенсивности отказов, а на рисунке 2 – график интенсивности отказов $\lambda(t)$. В таблице 2 проведен расчет надежности поставок в снабжении при нормальном распределении интенсивности отказов и построен график динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$, соответствующий нормальному распределению интенсивности отказов (рисунок 2).

Расчет надежности поставок в снабжении для стационарного процесса отказов ведется в следующем порядке.

1. Определяется количество отказов. Из таблицы 1 видно, что только две поставки 15 января и 15 февраля выполнены безотказно, т.е. количество отказов $n=10$.

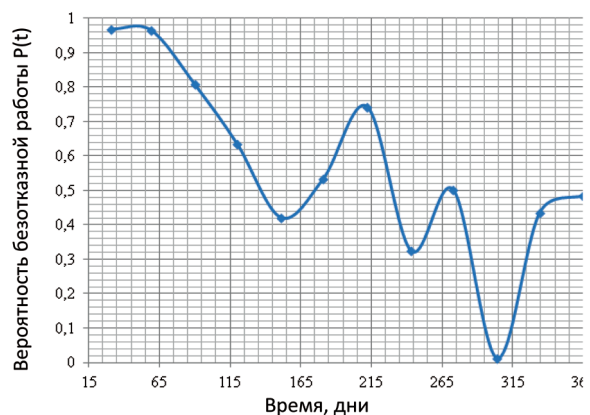


Рис. 1. Графики динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ при экспоненциальном распределении интенсивности отказов

Таблица 1

Расчет надежности поставок в снабжении при экспоненциальном распределении интенсивности отказов

Показатель	Значение												Σ или среднее
	1 янв	1 фев	1 мар	1 апр	1 май	1 июн	1 июл	1 авг	1 сен	1 окт	1 ноя	1 дек	
Начало интервала времени t , дни	1 янв	1 фев	1 мар	1 апр	1 май	1 июн	1 июл	1 авг	1 сен	1 окт	1 ноя	1 дек	
Конец интервала времени $t+\Delta t$, дни	31 янв	28 фев	31 мар	30 апр	31 май	30 июн	31 июл	31 авг	30 сен	31 окт	30 ноя	31 дек	
Дата поставки плановая $D_{пл}$, дни	15 янв	15 фев	15 мар	15 апр	15 май	15 июн	15 июл	15 авг	15 сен	15 окт	15 ноя	15 дек	
Дата поставки фактическая $D_{ф}$, дни	15 янв	13 фев	20 мар	25 апр	1 июн	28 июн	15 июл	15 авг	18 сен	15 окт	1 дек	30 дек	
Длина интервала Δt , дни	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Сумма длин интервалов $\Sigma \Delta t$, дни	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334	365	
Опоздание $t_{оп}$, дни	0	0	5	10	17	13	0	0	3	0	16	15	79
Условное опоздание $t'_{оп}$, дни	0	0	0	0	0	0	7	20	11	30	0	0	68
Общее опоздание $t_{оп} + t'_{оп}$, дни	0	0	5	10	17	13	7	20	14	30	16	15	147
Объем поставки плановый $V_{пл}$, кг	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	7200
Объем поставки фактический $V_{ф}$, кг	600	600	600	800	1000	640	460	200	380	0	720	1200	7200
Объем недопоставленного (-) или избыточного (+) товара ΔV , кг	0	0	0	200	400	40	-140	-400	-220	-600	120	600	0
Интенсивность потребления запаса ν , кг/день	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Число отказов $\rho(t, t+\Delta t)$, ед.	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Наработка на отказ T_0 , дни	31	28	26	20	14	17	24	11	16	1	14	16	21,8
Среднее время восстановления T_B , дни	0	0	5	10	17	13	7	20	14	30	16	15	14,7
Функция готовности $K_r(t)$	1	1	0,83871	0,66667	0,45161	0,56667	0,77419	0,35484	0,53333	0,03226	0,46667	0,51613	0,59726
Функция простоя $K_p(t)$	0	0	0,16129	0,33333	0,54839	0,43333	0,22581	0,64516	0,46667	0,96774	0,53333	0,48387	0,40274
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,96826	0,96492	0,80706	0,63415	0,42048	0,53429	0,7426	0,324	0,50102	0,01187	0,4345	0,48486	0,57048
Интенсивность отказов $\lambda(t)$	0,03226	0,03571	0,03846	0,05	0,07143	0,05882	0,04167	0,09091	0,0625	1	0,07143	0,0625	0,04587

Таблица 2
Расчет надежности поставок в снабжении при нормальном распределении интенсивности отказов

Показатель	Значение												Σ или среднее
	1 янв	1 фев	1 мар	1 апр	1 май	1 июн	1 июл	1 авг	1 сен	1 окт	1 ноя	1 дек	
Начало интервала времени t , дни	1 янв	1 фев	1 мар	1 апр	1 май	1 июн	1 июл	1 авг	1 сен	1 окт	1 ноя	1 дек	
Конец интервала времени $t+\Delta t$, дни	31 янв	28 фев	31 мар	30 апр	31 май	30 июн	31 июл	31 авг	30 сен	31 окт	30 ноя	31 дек	
Дата поставки плановая $D_{пл}$, дни	15 янв	15 фев	15 мар	15 апр	15 май	15 июн	15 июл	15 авг	15 сен	15 окт	15 ноя	15 дек	
Дата поставки фактическая $D_{ф}$, дни	15 янв	13 фев	20 мар	25 апр	1 июн	28 июн	15 июл	15 авг	18 сен	15 окт	1 дек	30 дек	
Длина интервала Δt , дни	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30,41667
Сумма длин интервалов $\Sigma \Delta t$, дни	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334	365	
Опоздание $t_{оп}$, дни	0	0	5	10	17	13	0	0	3	0	16	15	79
Условное опоздание $t'_{оп}$, дни	0	0	0	0	0	0	7	20	11	30	0	0	68
Общее опоздание $t_{оп} + t'_{оп}$, дни	0	0	5	10	17	13	7	20	14	30	16	15	147
Объем поставки плановый $V_{пл}$, кг	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	7200
Объем поставки фактический $V_{ф}$, кг	600	600	600	800	1000	640	460	200	380	0	720	1200	7200
Объем недопоставленного (-) или избыточного (+) товара ΔV , кг	0	0	0	200	400	40	-140	-400	-220	-600	120	600	0
Интенсивность потребления запаса ν , кг/день	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Число отказов $n(t, t+\Delta t)$, ед.	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Наработка на отказ T_0 , дни	31	28	26	20	14	17	24	11	16	1	14	16	21,8
Среднее время восстановления T_B , дни	0	0	5	10	17	13	7	20	14	30	16	15	14,7
Среднеквадратичное отклонение времени между отказами σ_T , дни	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,2664	8,26639
$(\Delta t - T_0) / \sigma_T$	0	0	0,60486	1,20972	2,05652	1,57263	0,8468	2,41943	1,6936	3,62915	1,93555	1,81458	1,042373
Значение функции Лапласа Φ_0	0	0	0,22736	0,38681	0,48013	0,4421	0,30145	0,49223	0,45483	0,49986	0,47354	0,46521	0,351381
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,5	0,5	0,27264	0,11319	0,01987	0,0579	0,19855	0,00777	0,04517	0,00014	0,02646	0,03479	0,148619

2. Определяется величина среднесуточной поставки:

$$v = \frac{7200}{365} \approx 20 \frac{\text{кг}}{\text{сутки}}$$

3. Определяется наработка на отказ:

$$T_0 = \frac{365 - 147}{10} = 21,8 \text{ суток.}$$

4. Определяется интенсивность отказов:

$$\lambda = \frac{1}{21,8} = 0,046 \text{ суток.}$$

5. Определяется функция готовности K_r или коэффициент безотказности снабжения:

$$K_r = \frac{365 - 147}{365} = 0,597.$$

6. Определяется функция простоя K_n :

$$K_n = \frac{147}{365} = 0,403.$$

7. Определяется величина надежности поставок в снабжении:

$$P = 0,597 \cdot e^{-0,046} = 0,597 \cdot 0,955 = 0,570.$$

В действительности процесс отказов в рассмотренном примере является нестационарным, поэтому в таблицах 1 и 2 рассчитана динамика основных показателей, характеризующих надежность. Данный пример позволяет сделать следующие выводы и обобщения:

1) анализ динамики изменения интенсивности отказов $\lambda(t)$ (см. таблицу 1 и рисунок 2) показывает, что возникновение отказов является нестационарным процессом, следовательно, во-первых, необходимо исследовать параметры надежности поставок в динамике; во-вторых, распределение этого показателя является островершинным, ассиметричным, имеющим ряд локальных экстремумов и плохо согласующимся с экспоненциальным распределением, следовательно, для расчета параметра надежности поставок в снабжении необходимо подобрать наиболее подходящий закон распределения. Согласно закону больших чисел, распределение всегда подчиняется нормальному закону, если на изменение случайной величины оказывают влияние многие примерно равнозначные факторы, поэтому в теории надежности принято, что «при большом времени работе элемента и наличии восстанов-

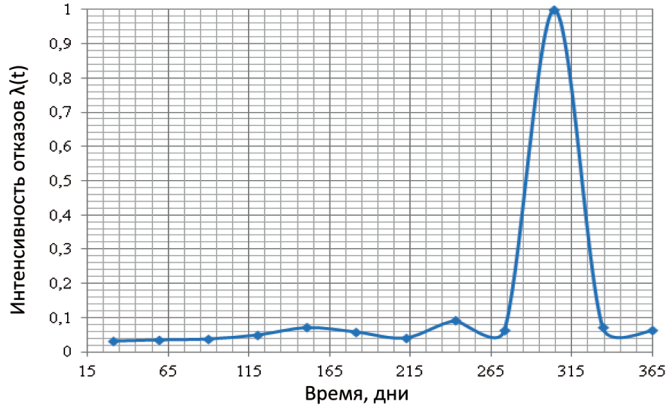


Рис. 2. График интенсивности отказов $\lambda(t)$

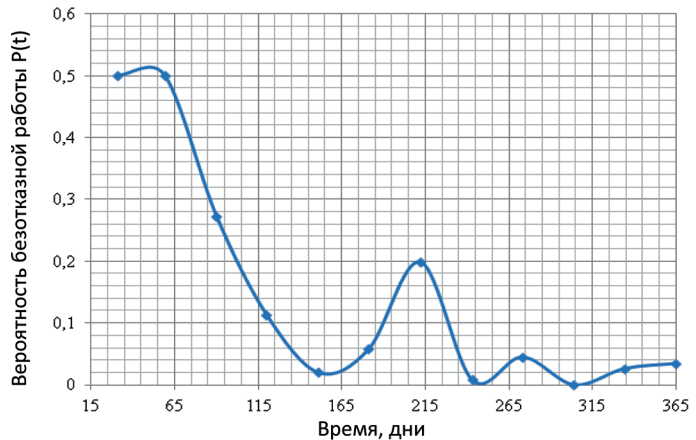


Рис. 3. Графики динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ при нормальном распределении интенсивности отказов

ления среднее число отказов имеет асимптотически нормальное распределение» [4, с. 44];

2) анализ объемов недопоставленного товара ΔV показывает, что проблемы с поставками предприятие начало испытывать уже в июле, когда объем недопоставленного товара ΔV составил 140 ед., и достигли максимума в октябре, когда поставок товара не было, а $\Delta V = -600$ ед., следовательно, торговый или производственный процесс на данном предприятии в указанный период времени мог прерываться вследствие отсутствия необходимого материала;

3) анализ динамики изменения функция готовности $K_r(t)$ и функции простоя $K_n(t)$ (см. таблицу 1) показывает, что они изменяется в широком диапазоне в течение всего планового периода времени $T(t, t+\tau)$, причем функция готовности $K_r(t)$ достигает максимума в январе и феврале, а минимума – в октябре, тогда как функция простоя $K_n(t)$ имеет обратную динамику;

4) результаты расчета функции простоя $K_n(t)$ показывают, что в августе, октябре и ноябре большую часть времени предприятие простаивало или могло простаивать ввиду отсутствия необходимого материала. Данные, представленные в таблице 1, не позволяют дать ответ на вопрос какая величина общего опоздания $t_{оп} + t'_{оп}$ является критичной, т.е. приводит к остановке производственного или торгового процесса, следовательно необходимо знать величину страхового запаса, чтобы определить недопустимую величину общего опоздания $t_{оп} + t'_{оп}$;

5) анализ динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ при экспоненциальном распределении интенсивности отказов (см. рисунок 1) показывает, что данный показатель изменяется в широком диапазоне значений от 0,96826 в январе до 0,01187 в октябре, динамика этого показателя полностью соответствует динамике изменения функция готовности $K_r(t)$ (см. таблицу 1) и несущественно отличается от нее по величине;

6) анализ динамики изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ при нормальном распределении интенсивности отказов (см. рисунок 2) показывает, что динамика данного показателя соответствует динамике изменения функция готовности $K_r(t)$ (см. таблицу 1), но существенно отличается от нее по величине.

Для нормального распределения функция надежности вычисляется по формуле [4, с. 44]:

$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{t-m}{\sigma} \right), \quad (14)$$

где $t = \Delta t$ – длина интервала, дни; $m = T_0$ – среднее время между отказами, дни;
 $\sigma = \sigma_T$ – среднеквадратичное отклонение времени между отказами, дни;

$\Phi_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ – функция Лапласа, значения которой сведены в таблицы.

Так для рассматриваемого примера за интервал времени $\Delta t = 30,4$ дней, т.е. в среднем за месяц, функция надежности равна

$$P(30,4) = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{\Delta V - T_0}{\sigma_T} \right) = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{30,4 - 21,8}{8,266} \right) = 0,149.$$

Не сложно посчитать, что за период времени $\Delta t = 365$ дней, т.е. за один год, значение функции надежности $P(t)$ будет близко к нулю, что совершенно противоречит расчету, выполненному по формуле (10). Очевидно, что функция надежности, рассчитанная по формуле (10), дает завышенную оценку данного показателя и, по сути, не является функцией надежности в классическом понимании, т.е. не представляет собой вероятность безотказной работы поставщика в течение времени t .

Таким образом, во-первых, точечные значения коэффициента безотказности снабжения K_r и величины надежности поставок в снабжении P не дают полного представления о надежности поставок, необходимо исследовать динамику этих показателей. Во-вторых, необходимо подбирать теоретическое распределение для интенсивности отказов $\lambda(t)$, поскольку экспоненциальное распределение, которое широко используется для

моделирования надежности невосстанавливаемых систем, плохо подходит для моделирования надежности восстанавливаемых систем [4, с. 43]. В-третьих, функция надежности вида (10) неадекватна классическому пониманию надежности, т.е. не представляет собой вероятность безотказной работы поставщика в течение времени $T(t, t+\tau)$.

В учебном пособии А.А. Канке и И.П. Кошевой [1, с. 229-230] приведен алгоритм определения надежности поставок в снабжении, который в общих чертах повторяет рассмотренную выше методику.

Общий вывод из алгоритма определения надежности, который сделан в работе [1, с. 230] – чем выше коэффициент готовности поставок K_r , характеризующий надежность поставщика, тем надежнее его снабжение для предприятия. С этим выводом сложно не согласиться, но рассмотренный выше пример показывает, что методика расчета нуждается в совершенствовании.

При разработке показателей надежности поставок в снабжении, по нашему мнению, необходимо учитывать особенности процесса поставок:

- интенсивность отказов $\lambda(t)$ поставок в снабжении может быть как стационарным процессом, так и нестационарным процессом (иметь тренды, сезонности, случайные всплески), следовательно, расчет надежности цепи поставок может быть как статическим, так и динамическим;
- сбои в поставке товара могут быть как непрерывными, так и дискретными (например, динамика их может быть отнесена к редким событиям). Следовательно, необходимо подобрать наилучший закон распределения вероятности для функции интенсивности отказов $\lambda(t)$: непрерывный (экспоненциальный, нормальный, Вейбулла, гамма-распределение и др.) или дискретный (Пуассона, биномиальный и др.).

На рисунке 4 представлена усовершенствованная методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, где каждый этап расчета представлен в виде блока. Рассмотрим содержание этих этапов более подробно.

Этап 1. На первом этапе (блок 1) осуществляется формирование исходных данных о поставках и расходовании товарного запаса для конкретной товарно-номенклатурной позиции за рассматриваемый период времени.

Этап 2. На данном этапе (блок 2) проводится построение и анализ функции интенсивности отказов $\lambda(t)$ поставок в снабжении.

Этап 3. Проверяется условие: являются ли интенсивности отказов $\lambda(t)$ поставок в снабжении стационарным процессом? Если да, то проводится расчет показателей надежности для стационарного процесса (блок

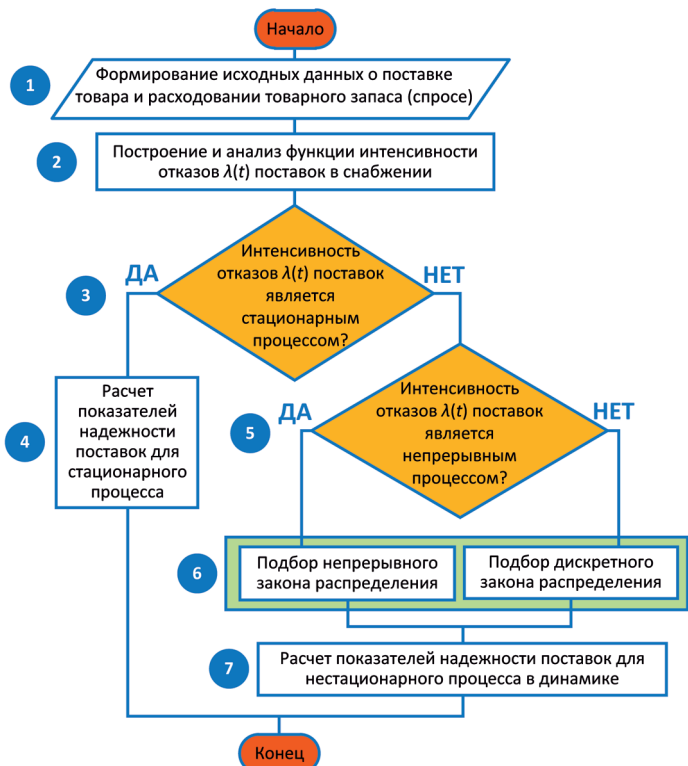


Рис. 4. Блок-схема методики расчета показателей надежности поставок в снабжении при нестационарном и дискретном процессе сбоев в поставках

4), если нет, то алгоритм расчета показателей надежности поставок усложняется и включает в себя блоки 5, 6 и 7.

Этап 4. Проводится расчет показателей надежности поставок для стационарного процесса по формулам 1 – 13.

Этапы 5 и 6. В блоке 5 проверяется условие: являются ли интенсивности отказов $\lambda(t)$ поставок в снабжении непрерывным процессом или динамика сбоев в поставках может быть отнесена к редким событиям? Если да, то осуществляется подбор наиболее подходящего непрерывного закона распределения, если нет – дискретного закона распределения (блок 6).

Этап 7. Проводится расчет показателей надежности поставки для нестационарного процесса в динамике по алгоритму, представленному в примере 1.2 (см. таблицы 1 и 2).

Заключение

Рассмотренный нами пример подтверждает, что усовершенствованная методика расчета показателей надежности поставок в снабжении, представленная на рисунке 3, позволяет учесть как нестационарность, так и дискретность процесса сбоев в поставках, следовательно, получить более точные данные, характеризующие надежность поставок в снабжении.

По нашему мнению, следует продолжить исследование в данном направлении, в частности, рассмотреть особенности расчета показателей надежности поставок в снабжении, когда сбой в поставке товара могут быть отнесены к редким событиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канке А.А., Кошевая И.П. Основы логистики: учебное пособие / А.А. Канке, И.П. Кошевая. – М.: КНОРУС, 2013. – 576 с.
2. Плоткин Б.К. Математические выражения логистики и управления цепями поставок (Дополнительные фрагменты) / Б.К. Плоткин. – СПб.: Изд-во Инфо-да, 2015. – 91 с.
3. Плоткин Б.К. Экономика: предпринимательство, логистика и цепи поставок / Б.К. Плоткин. – СПб.: Изд-во Инфо-да, 2015. – 131 с.
4. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

REFERENCES

1. Kanke, A.A., Koshevaya, I.P. (2013), *Osnovy logistiki* [Fundamentals of Logistics], KNORUS, Moscow, Russia.
2. Plotkin, B.K. (2015) *Mathematicheskie vyrazheniya logistiki i upravleniya zepyami postavok (Dopolnitel'nye fragmenty)* [Mathematical expressions of logistics and supply chain management (Additional fragments)], Publishing house Info-da, Saint-Petersburg, Russia.
3. Plotkin, B.K. (2015), *Economyka: business, logistika i zepi postavok* [Economy: business, logistics and supply chain], Publishing house Info-da, Saint-Petersburg, Russia.
4. Polovko, A.M., Gurov, S.V. (2006), *Osnovy teorii nadezhnosti* [Basic theory of reliability], BHV-Petersburg, Saint-Petersburg, Russia.