

# Методологические аспекты обеспечения надежности логистических цепей поставок



**А. В. Вохмянина,**  
канд. техн. наук,  
доцент кафедры  
«Мировая экономика  
и логистика»  
Уральского  
государственного  
университета путей  
сообщения

Одним из основополагающих критериев оценки качества и доступности транспортно-логистического обслуживания является критерий надежности цепи поставок. Большая сложная транспортно-логистическая система предполагает большое количество разнокачественных элементов, выполняющих разные логистические функции, и сложные неоднородные связи между этими элементами. Очевидно, что некачественное и несвоевременное выполнение функций хотя бы одним из звеньев приводит к снижению качества функционирования всей логистической цепи поставок и сокращению ее экономической эффективности. В связи с этим необходимо учитывать так называемую надежность цепи поставки, которая заключается в обеспечении максимально своевременного, сохранного и экономичного функционирования каждого из элементов логистической системы, высокой степени координации (т.е. поддержания соразмерности объемных и временных показателей) их работы.

Проблемам повышения надежности логистических цепей поставок посвящены научные работы наиболее значимых специалистов, занимающихся вопросами логистики: С. М. Резера, А. Г. Некрасова, В. А. Персианова, В. Г. Галабурды.

Задача повышения надежности транспортных процессов в логистических цепях поставок достаточно сложна. В отличие от работы складов и систем управления запасами, транспортные услуги нельзя накапливать в ожидании

Вероятностный анализ факторов, характеризующих неопределенность, позволяет выявить узкие места в процессе товародвижения: определить наиболее ненадежные звенья логистической цепи, попытаться изменить характеристики взаимодействия с ними или выбрать более надежных контрагентов. Следует учитывать, что надежность контрагентов редко бывает стопроцентной, поэтому на основе рассчитанных вероятностей возникновения дефицита и его средних величин можно принять решение о формировании такого запаса, который обеспечил бы непрерывность товародвижения.

повышения спроса или сбоя в поставке по вине одного из предыдущих звеньев. Резервирование же транспортных средств на эти случаи существенно повышает стоимость перевозок. Вопросы влияния резервирования запасов в звеньях цепи поставок подробно рассмотрены в работах М. Н. Григорьева, Г. Л. Бродецкого, А. Н. Стерлиговой.

Попытаемся дать определение надежности логистической цепи поставок исходя из классического определения теории надежности, базирующейся на аппарате теории вероятностей. Надежность логистической цепи поставок – способность ее элементов и звеньев поддерживать требуемый уровень качества выполняемых логистических операций

Ситуация, когда реальный спрос полностью удовлетворяется плановыми размерами поставок, скорее исключение из правил, чем закономерность. На состояние запасов на предприятиях – звеньях транспортно-логистической цепи оказывает влияние множество независимых факторов, определенных особенностями внешней среды, ее политической, социально-экономической

и рыночной характеристиками. Поэтому анализ вероятности возникновения дефицита должен осуществляться с учетом интенсивности влияния каждого из таких факторов.

## Определение вероятности возникновения и размера дефицита с учетом колебаний спроса

Важнейшим фактором, оказывающим влияние на надежность звеньев цепи поставок, являются изменения спроса, которые могут иметь постоянный, сезонный или единовременный характер. В работах [1-2] под надежностью функционирования звена цепи поставок понимается вероятность возникновения в нем дефицита товарно-материальных ценностей для передачи на следующее звено поставок.

Спрос является единственным полностью независимым фактором, и поэтому, прежде всего, должен учитываться при формировании страховых запасов в транспортно-логистической цепи. Оценку надежности и вероятность возникновения дефицита можно осуществить в ходе следующих этапов.

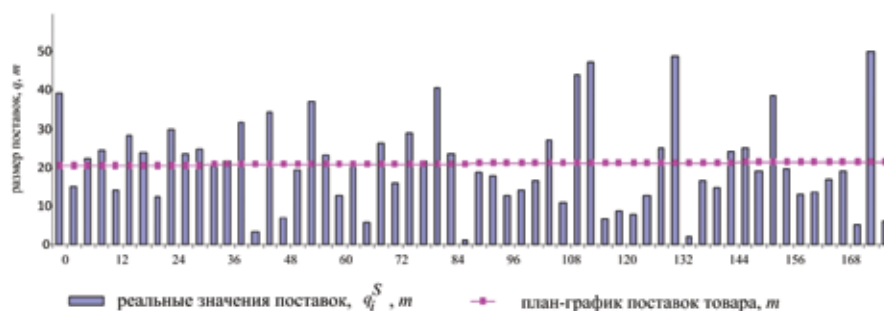


Рис. 1. Динамика поставок

Таблица 1. Интервальный ряд распределения уровней запасов в системе вародвижения

Группы наблюдений по уровням запасов в системе, $m$ , $Q_i$	Количество наблюдений $f_i$	$W_i$	$w_i$	$Q'_i$	$\varphi(Q_i)$	$\varphi(Q_i) \cdot \Delta x$	$f'_i$	$\frac{(Q_i - Q'_i)^2}{Q'_i}$
-40 -30	4	0,022	-0,001	-35	0,001	0,007	1,332	5,348
-30 -20	5	0,028	-0,001	-25	0,003	0,033	5,857	0,125
-20 -10	18	0,100	-0,010	-15	0,010	0,096	17,259	0,032
-10 0	36	0,200		-5	0,019	0,189	34,078	0,108
0 10	35	0,194	0,019	5	0,025	0,250	45,084	2,255
10 20	45	0,250	0,013	15	0,022	0,222	39,962	0,635
20 30	27	0,150	0,005	25	0,013	0,132	23,734	0,450
30 40	9	0,050	0,001	35	0,005	0,052	9,444	0,021
40 50	1	0,006	0,000	45	0,001	0,014	2,518	0,915
	180	1,000						9,889

На первом этапе выявляется характер и величина отклонений реальных состояний запасов от их запланированных величин.

На рис. 1 приведен фрагмент динамики поставок одного из крупных логистических центров г. Екатеринбурга, осуществляющего поставку металлопроката. Помимо запланированной динамики поступления и расхода товаров, отображены также реальные состояния запасов в системе товародвижения. Расчет уровня запасов в системе товародвижения ( $Q_i^{сис\tau}$ ) приведен в формуле:

$$Q_i^{сис\tau} = Q_{i-1}^{сис\tau} - q_i^D + q_i^S, \quad (1)$$

где  $Q_{i-1}^{сис\tau}$  – состояние запасов в системе в предыдущий период, т;  $q_i^D$  – спрос на товар в  $i$ -й момент времени, т;  $q_i^S$  – поставки (предложение) товара в  $i$ -й момент времени, т.

В результате более или менее долгосрочного увеличения интенсивности спроса, запланированное предложение не может удовлетворять его полностью, то есть снижается надежность функционирования цепи поставок – потребители вынуждены какое-то время находиться в очереди и ожидать поставок.

На втором этапе для вероятностного анализа значения, полученные по формуле (1) группируются в табл. 1, и строится интервальный ряд распределения (рис. 2).

Первичный анализ построенного ряда распределения позволяет сделать вывод о низкой надежности системы – в 63 днях из рассматриваемых 180 наблюдается дефицит, при этом в ряде случаев его величина достаточно существенна.

На третьем этапе для расчета вероятности возникновения дефицита, то есть снижения объема запаса ниже нуля, необходимо определить, какому закону подчиняется данное распределение [3].

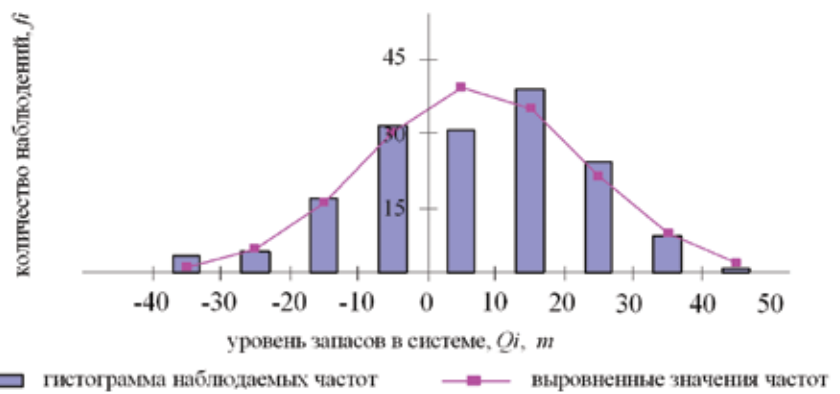


Рис. 2. Интервальный ряд распределения уровней запасов в системе товародвижения с учетом колебаний спроса

Теоретическая нормальная кривая строится по выравнивающим частотам. Выравнивающие частоты непрерывного распределения находят по равенству (2):

$$f'_i = P_i n, \quad (2)$$

где  $P_i$  – вероятность попадания  $Q$  в  $i$ -й частичный интервал, вычисленная при допущении, что  $Q$  имеет предполагаемое распределение.

Анализ графика ряда распределения позволяет выдвинуть гипотезу о нормальном распределении, выравнивающие частоты которого могут быть рассчитаны по формуле (3):

$$f'_i = \Delta Q \cdot \varphi(Q_i) \cdot n, \quad (3)$$

где  $\Delta Q$  – величина интервала, т;  $\varphi(Q_i)$  – плотность нормированного нормального распределения (4):

$$\varphi(Q_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q_i^2}{2}}. \quad (4)$$

Сравнительный анализ гистограммы распределения и полигона выровненных частот свидетельствует о том, что построенная теоретическая кривая удовлетворительно отражает данные наблюдений.

Для уточнения подчинения наблюдаемого распределения нормальному закону, гипотезу проверяют при помощи критерия согласия Пирсона. При заданном уровне значимости нулевая гипотеза  $H_0$  проверяется исходя из выровненных частот распределения по формуле (5):

$$\chi^2_{набл} = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n_i}, \quad (5)$$

а затем по таблице критических точек распределения  $\chi^2$ , при заданном уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы  $k = s - 3$ , находят критическое значение  $\chi^2_{крит}(\alpha; k)$ . Если  $\chi^2_{набл} < \chi^2_{крит}$  – нулевая гипотеза не отвергается.

В рассматриваемом случае значение  $\chi^2_{набл}$  рассчитано в таблице 1 и равно  $\chi^2_{набл} = 9,889$ . Критическое значение критерия при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $k = 9 - 3 = 6$  принимает значение  $\chi^2_{крит}(0,05; 6) = 14,1$ . Так как  $\chi^2_{набл} < \chi^2_{крит}$ , нет оснований отвергать нулевую гипотезу, то есть наблюдаемое распределение можно считать нормальным.

На четвертом этапе определяется вероятность возникновения дефицита,

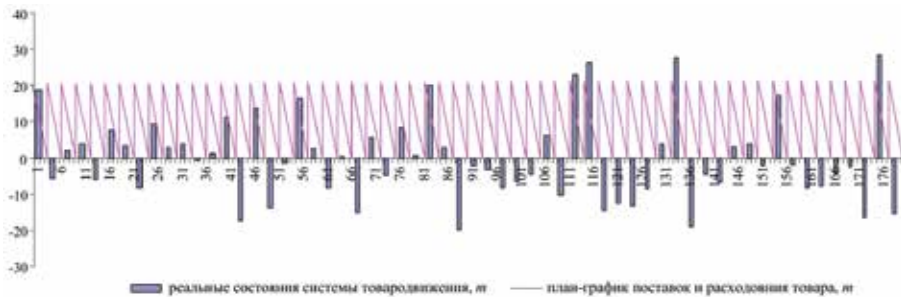


Рис 3. Динамика состояний системы рассчитанных с учетом надежности поставщика

где  $Q$  – средний уровень запаса в цепи рассчитывается как средняя простая арифметическая величина значений размеров запасов,  $m$ :

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (7)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение размеров запасов от среднего уровня:

Таблица 2. Интервальный ряд распределения уровней запасов с учетом надежности поставщика

Группы наблюдений по уровням запасов в системе, $m$ $Q_i$	Количество наблюдений, $f_i$	$W_i$	$w_i$	$Q'_i$	$\phi(Q_i)$	$\phi(Q_i) \cdot \Delta x$	$f'_i$	$\frac{(Q_i - Q'_i)^2}{Q'_i}$
-14	7	0,117	-0,008	-17	0,012	0,071	4,286	1,719
-8	9	0,150	-0,019	-11	0,022	0,131	7,887	0,157
-2	13	0,217	-0,108	-5	0,031	0,186	11,177	0,297
4	16	0,267	0,067	1	0,034	0,203	12,194	1,188
10	5	0,083	0,008	7	0,028	0,171	10,244	2,684
16	3	0,050	0,003	13	0,018	0,110	6,626	1,984
22	4	0,067	0,003	19	0,009	0,055	3,300	0,149
28	2	0,033	0,001	25	0,004	0,021	1,265	0,427
34	1	0,017	0,000	31	0,001	0,006	0,374	1,050
	60							9,656

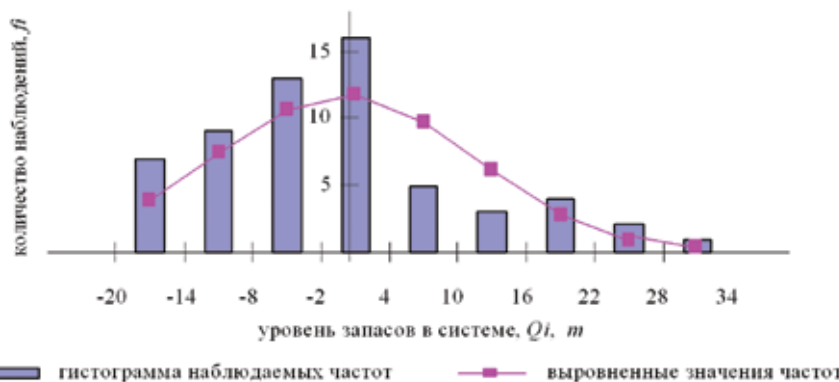


Рис. 4. Интервальный ряд распределения состояний запасов в системе с учетом надежности поставщиков

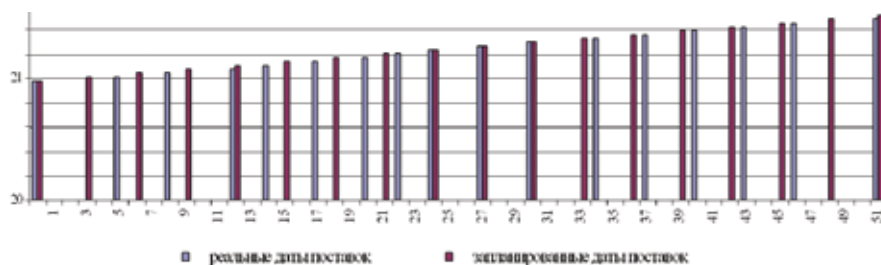


Рис. 5. Фрагмент графика динамики прибытия товаров

в зависимости от того, какому закону подчиняется рассматриваемое распределение. Так как распределение соответствует нормальному закону, вероятность возникновения дефицита, то

есть попадание нормальной случайной величины в интервал меньше 0, определяется по формуле (6):

$$P(Q_{\min} < Q < 0) = \Phi\left(\frac{0 - \bar{Q}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{Q_{\min} - \bar{Q}}{\sigma}\right), \quad (6)$$

Таким образом, средние степенные величины и вероятность возникновения дефицита составят:

$$\bar{Q}_1 = \frac{1257,965}{180} = 6,988m;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{44949,1}{180}} = 15,802m;$$

$$\begin{aligned} P(G_1) &= P(-37,815 < Q < 0) = \Phi \\ &= \Phi\left(\frac{0 - 6,988}{15,802}\right) - \Phi\left(\frac{-37,815 - 6,988}{15,802}\right) = \\ &= \Phi(-0,442) - \Phi(-2,835) = \\ &= -0,170 - (-0,481) = 0,311. \end{aligned}$$

Таким образом, вероятность возникновения дефицита составляет  $P(\alpha < Q < 0)$ . Эта вероятность достаточно велика, что обуславливает необходимость формирования и поддержания страхового запаса.

Пятый этап – это определение средней величины дефицита, возникающего вследствие отклонения реального рыночного спроса от планируемой величины предложения.

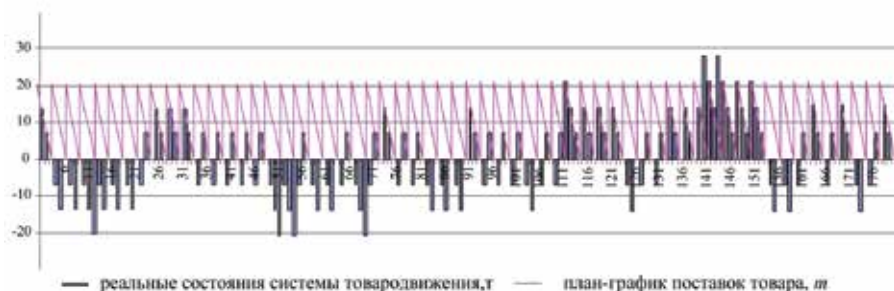


Рис 6. Динамика состояний системы, рассчитанных с учетом надежности перевозчика

Таблица 3. Интервальный ряд распределения уровней запасов с учетом надежности перевозчика

Группы наблюдений по уровням запасов в системе, $m$ $Q_i$	Количество наблюдений $f_i$	$W_i$	$w_i$	$Q'_i$	$\phi(Q_i)$	$\phi(Q_i) \cdot \Delta x$	$f'_i$	$\frac{(Q_i - Q'_i)^2}{Q'_i}$
-14	9	0,050	-0,004	-17,5	0,007	0,052	9,354	0,013
-7	27	0,150	-0,021	-10,5	0,022	0,151	27,258	0,002
0	52	0,289		-3,5	0,038	0,263	47,406	0,445
7	46	0,256	0,037	3,5	0,039	0,273	49,209	0,209
14	26	0,144	0,010	10,5	0,024	0,169	30,487	0,660
21	14	0,078	0,004	17,5	0,009	0,063	11,274	0,659
28	5	0,028	0,001	24,5	0,002	0,014	2,488	2,536
35	1	0,006	0,000	31,5	0,000	0,002	0,328	1,379
	180	1,000					177,805	5,905

Средняя величина дефицита определяется как среднее арифметическое простое значение всех наблюдаемых размеров дефицита:

$$\bar{Q}_g^{деф} = \frac{\sum_{i=1}^t Q_i^{деф}}{t}, \quad (9)$$

где  $t$  – количество дней, когда наблюдался дефицит;  $g$  – обозначение фактора, влияющего на возникновение дефицита.

Тогда дефицит запаса в цепи составит:

$$\bar{Q}_1^{деф} = \frac{636,245}{63} = 10,099 \text{ м.}$$

Значительная вероятность возникновения дефицита по причине колебаний спроса и его существенная величина, свидетельствует о необходимости создания страховых запасов.

### Определение вероятности возникновения и размера дефицита с учетом надежности поставщиков

При организации систем управления запасами необходимо учитывать характер взаимоотношений с поставщиками. В международной практике при организации доставки используется принцип just-in-time («точно в срок»), что позволяет снижать запас товаров в системе до минимального

уровня, позволяющего обеспечивать требуемый уровень сервиса. К сожалению, в современной российской практике организации товародвижения это затруднительно в силу недостаточной ответственности поставщиков, низкого качества поставляемой продукции и нестабильной финансово-кредитной ситуации, которая вынуждает потребителей создавать запасы продукции по более низким, чем ожидаемые в будущем, ценам. Поэтому актуальной остается задача оценки надежности поставщиков и создания страховых запасов, позволяющих обеспечить непрерывность производственного и товаропроводя-

щего процессов в случае изменения характеристик поставок. Под надежностью поставщиков понимается их способность осуществлять поставки в необходимом объеме и по первому требованию.

Для оценки надежности поставщиков необходимо определить вероятность возникновения дефицита вследствие отклонений реальных размеров поставок от запланированных значе-

ний. При анализе отклонений было сделано допущение, что отсутствуют отклонения в моментах поставок, то есть поставка осуществляется один раз в средний интервал между поставками ( $\tau^s = 3$  дня). На рис. 2 представлены реальные и запланированные значения объемов поставок: если объем недостаточен, поставщик может отправить более крупную партию позже, в результате чего возникают дефицит или избыток.

Состояние запасов в транспортно-логистической цепи рассчитывается по формуле (1). На рис. 3 изображены планируемые уровни запасов на определенные моменты времени и их состо-

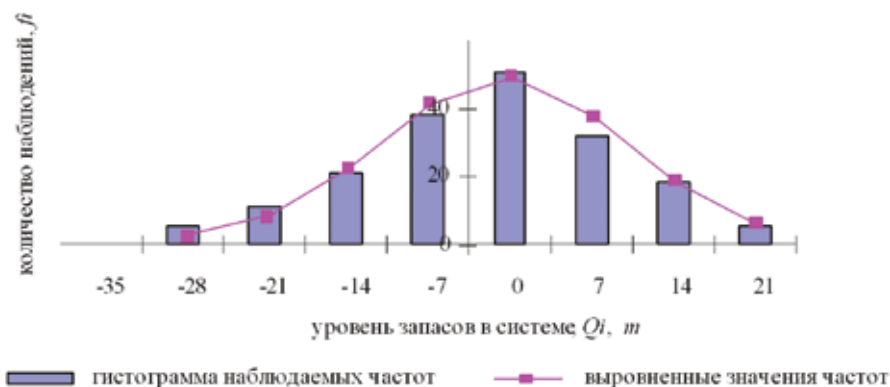


Рис 7. Интервальный ряд распределения состояний запасов в системе с учетом надежности перевозчиков



яния, зависящие от реальных объемов поставок.

Рассчитанные по формуле (1) значения в графическом виде представлены в табл. 2 и на рис. 4. Первичный анализ рассчитанных и сгруппированных данных подтверждает значительную вероятность возникновения дефицита по вине поставщиков.

Исходя из формул (2)–(7) и расчетов, выполненных в табл. 2, определяем наблюдаемое значение критерия согласия Пирсона:  $\chi^2_{набл} = 9,656$ . Критическое значение критерия составляет:  $\chi^2_{крит} (0,05;6) = 12,6$ . Так как наблюдаемое значения критерия согласия меньше, чем его критическая величина, то нулевая гипотеза не отвергается и распределение можно считать нормальным.

Тогда средние степенные величины и вероятность возникновения дефицита составит:

$$\bar{Q} = \frac{0}{60} = 0m$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8262,54}{60}} = 11,735m ;$$

$$P(G_2) = P(-19,730 < Q < 0) =$$

$$= \Phi\left(\frac{0-0}{11,735}\right) - \Phi\left(\frac{-19,730-0}{11,735}\right) =$$

$$= \Phi(0) - \Phi(1,681) = 0,454.$$

Средняя величина дефицита принимает значение:

$$\bar{Q}_2^{деф} = \frac{273,657}{32} = 8,551m.$$

Таким образом, вероятность возникновения дефицита вследствие недостаточной надежности поставщика выше, чем по причине колебаний спроса, а средняя величина дефицита, наоборот, меньше.

### Определение вероятности возникновения и размера дефицита с учетом надежности перевозчика

Значительное влияние на возможность поставки «точно в срок» оказывает надежность перевозчика. При определении времени доставки оперируют понятием функционального цикла, под которым понимается комплекс материальных и информационных операций, направленных на исполнение заказа [4]. При оптимизации транспортных систем как таковых необходимо также учитывать и надежность звеньев цепи

поставок, взаимодействующих с перевозчиками, для повышения надежности работы последних [5].

В современной логистической теории управления запасами расчет страхового запаса осуществляется исходя из среднего времени запаздывания поставки – или отклонения времени функционального цикла – по вине перевозчика. Однако использование этого метода затрудняется в силу неоднородности времени функционального цикла, которое, в свою очередь, зависит от месторасположения поставщика: при значительной вариации времени доставки товара от поставщиков средняя величина запаздывания недостаточно точно отображает все его возможные значения [6].

Метод определения страхового запаса исходя из среднего дефицита, возникающего вследствие запаздывания поставки, оценивает не временные, а количественные (объемные) показатели такого дефицита, а значит более объективно описывает изучаемые закономерности в отклонениях.

На рис. 5 изображен фрагмент исследуемого интервала времени, в течение которого прибывают товары. При исследовании было сделано допущение: товары прибывают в объеме, определенном в плане-графике поставок. Партию поставки формирует поставщик, поэтому он ответствен за ее размер. Это допущение позволяет оценить надежность только перевозчика, который ответствен за своевременное предоставление товара в распоряжение покупателя.

На рис. 6 представлена динамика состояний запасов в транспортно-логистической цепи, на которые влияет время запаздывания требуемой партии товара.

Эти данные сгруппированы в табл. 3 и в графическом виде представлены на рис. 7.

Используя формулы (2)–(7) и расчеты, выполненные в табл. 3, определяем наблюдаемое значение критерия согласия Пирсона:  $\chi^2_{набл} = 5,905$ . Критическое значение критерия составляет:  $\chi^2_{крит} (0,05;5) = 11,1$ . Так как наблюдаемое значения критерия согласия меньше, чем его критическая величина, то нулевая гипотеза не отвергается и распределение можно считать нормальным.

Тогда средние степенные величины и вероятность возникновения дефицита составит:

$$\bar{Q} = \frac{91,199}{180} = 0,506m ;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{17090,1}{180}} = 9,743m ;$$

$$P(G_3) = P(-20,837 < Q < 0) =$$

$$\Phi\left(\frac{0-0,506}{9,743}\right) - \Phi\left(\frac{-20,837-0,506}{9,743}\right) =$$

$$= \Phi(-0,052) - \Phi(-2,190) =$$

$$= -0,02 + 0,485 = 0,465.$$

Средняя величина дефицита принимает значение:

$$\bar{Q}_3^{деф} = \frac{625,529}{63} = 9,929m.$$

Таким образом, вероятность возникновения дефицита вследствие недостаточной надежности поставщика выше, чем по причине колебаний спроса, а средняя величина дефицита, наоборот, меньше.

Осуществленный вероятностный анализ факторов, характеризующих неопределенность, позволяет, с одной стороны, выявить узкие места в процессе товародвижения – определить ненадежные звенья логистической цепи, попытаться изменить характеристики взаимодействия с ними или выбрать более надежных контрагентов. С другой стороны, надежность контрагентов редко бывает стопроцентной, поэтому на основе рассчитанных вероятностей возникновения дефицита и его средних величин можно принять решение о формировании такого размера запаса, который бы обеспечил непрерывное протекание процесса товародвижения. ■

### Литература

1. Резер С. М. Оптимизация процессов грузовых перевозок. М.: Наука, 1980.
2. Резер С. М. Тарифное регулирование железных дорог. М.: ВНИТИ РАН, 2013.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. М.: Юрайт, 2013.
4. Леонтьев Р. Г., Веретенников Н.П., Адаменья А.И., Орлов А.Л. Отраслевые корпорации и региональный бизнес: интеграция процессов. Научное издание. М.: ВНИТИ РАН, 2009.
5. Steenbrink, Peter A. Optimization of transport networks. London–New York–Sydney–Toronto: John Wiley & Sons: Interscience Publication, 1974.
6. Кобелев Н. Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. М.: Дело, 2003.