

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

© 2005 В. И.Воронов¹, В. А.Лазарев²

¹Государственный университет управления, г. Москва

²Владивостокский государственный университет экономики и сервиса

Рассматриваются актуальные элементы моделирования логистических систем - логистические цепи.

1. Элементы моделирования логистических цепей

Рассмотрим несложную логистическую цепь. Тепловая электрическая станция получает топливные ресурсы - уголь и мазут - и вырабатывает электроэнергию и пар, которые поставляются потребителям.

Уголь и мазут доставляются железнодорожным транспортом, составами из цельнометаллических полувагонов и вагонов-цистерн. Уголь и мазут выгружаются из вагона на склад предприятия, затем со склада поступают непосредственно в энергетические цеха. На выходе энергетических цехов существуют непрерывные потоки электроэнергии и пара. Упрощенная модель такой логистической цепи представлена на рис. 1.



Рис. 1. Упрощенная модель логистической цепи

Упрощенная схема не является достаточно удобной для моделирования. Поэтому имеет смысл разделить функционально склады для угля и мазута, что и происходит на практике.

Производство пара и электроэнергии также имеет смысл разделить в модели, поскольку в действительности энергетический цех может в определенных пределах независимо регулировать их производство. Тогда потоковая модель производства тепловой электростанции будет выглядеть как на рис. 2.

Склады угля и мазута работают независимо друг от друга, накапливая запасы из прерывистого потока ресурсов, который формируется подходящими на станцию железнодорожными составами, и в свою очередь формируют непрерывные потоки топливных ре-

сурсов для бесперебойного снабжения энергетических цехов тепловой электростанции.

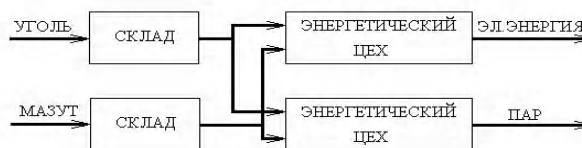


Рис. 2. Потоковая модель производства тепловой электростанции

Энергетический цех условно разделен в модели на две отдельные части, одна из которых производит электрическую энергию, другая – тепловую энергию, пар.

В действительности такого разделения нет, но модель всякой системы является ее относительным отображением и может нести в себе долю условности, если эта условность не нарушает адекватность отражения моделью реальных процессов.

Простейшая логистическая модель тепловой электростанции состоит из двух основных модулей, которые чаще всего встречаются в логистических схемах: накопитель потока и преобразователь потока.

Задача накопителя потока заключается в интегрировании входящего потока и формировании выходного потока в соответствии с заданными правилами. Математическая модель накопителя описывается двумя взаимосвязанными уравнениями:

$$\begin{cases} S(t) = \int_0^t [In(t) - Out(t)]dt; \\ Out(t) = \begin{cases} flow(t), S(t) > 0, \\ 0, S(t) \leq 0. \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $In(t)$ и $Out(t)$ – соответственно действительные входной и выходной потоки

накопителя в момент времени t , $S(t)$ – накопленный на складе объем ресурса к моменту времени t , $flow(t)$ – требуемый внешними условиями характер и объем потока в момент времени t .

Второе уравнение показывает, что выходной поток должен зависеть от наличия накопленного ресурса, и если накопитель пуст, то выходной поток становится нулевым, даже если имеется ненулевая потребность.

Рассмотрим пример. Существующая логистическая цепь функционирует в течение периода времени, равного 1000 часов. Поставки на склад топливных ресурсов выполняются по плану, представленному на рис. 3.

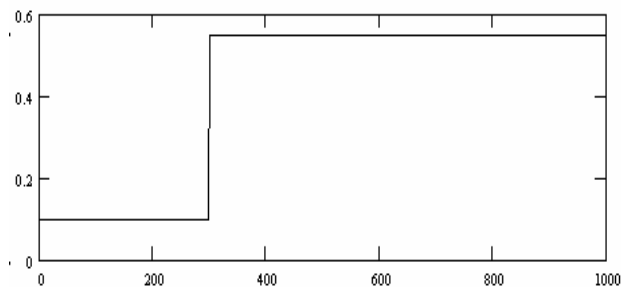


Рис. 3. Динамика плановых поставок топливных ресурсов

Выходной ресурсный поток со склада должен соответствовать плану, приведенному на рис. 4: первые 50 часов по единице ресурса каждый час, в последующие 50 часов поставка не требуется.

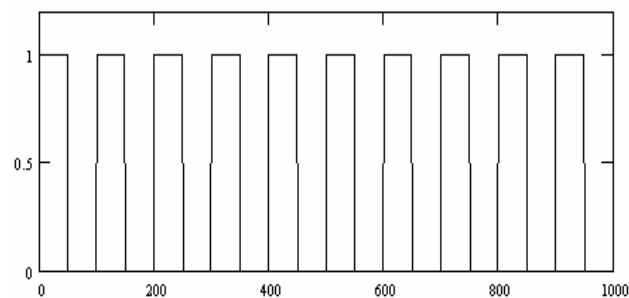


Рис. 4. Выходной поток со склада топливных ресурсов

Начальный запас на складе составляет 30 единиц ресурса. Тогда текущий запас будет меняться как представлено на рис. 5.

Реальный выходной поток будет соответствовать динамике потока топливных ресурсов, представленной на рис. 6.

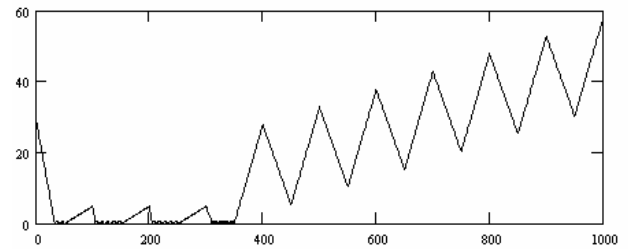


Рис. 5. Динамика текущего запаса топливных ресурсов

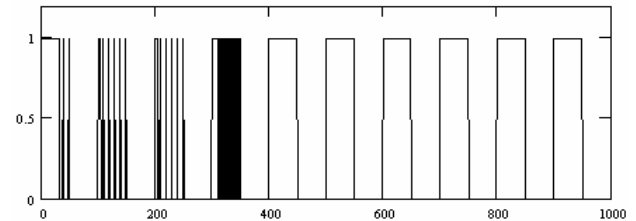


Рис. 6. Динамика реального выходного потока топливных ресурсов

В первые 350 часов работы логистической цепи по принятой схеме будет наблюдаться неритмичность поставок топливных ресурсов. Этот участок приведен на рис. 7.

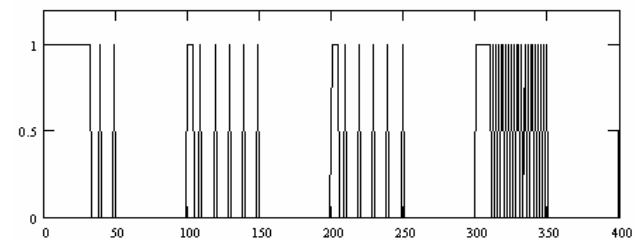


Рис. 7. Неритмичность поставок топливных ресурсов

Причина такой неритмичности поставок топливных ресурсов заключается в том, что в соответствии с планом выходного потока его средняя величина составляет 0,5 единицы в час, а входной поток в течение первых трехсот часов в пять раз меньше.

Для обеспечения требуемого выходного потока ресурсов в первые 350 часов необходимо $300 \times 0,5 + 50 = 200$ единиц топливного ресурса, а в наличии оказывается $30 + 300 \times 0,1 + 50 \times 0,55 = 87,5$ единицы. Нехватка составляет 112,5 единицы топливного ресурса.

Для обеспечения полного выходного потока необходим запас топливных ресурсов на складе в 142,5 единицы. При таком запасе

выходной поток будет полностью соответствовать плану.

Динамика состояния запасов топливных ресурсов в этом случае приведена на рис. 8.

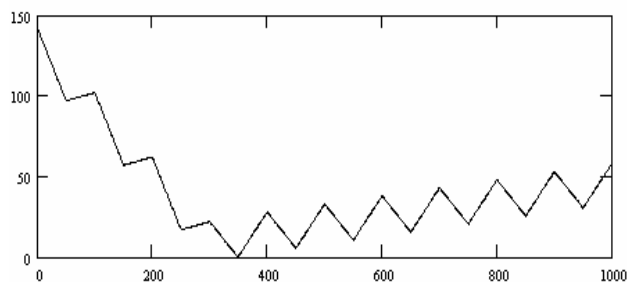


Рис. 8. Динамика состояния запасов топливных ресурсов

Второй часто встречающийся модуль – преобразователь потока, задача которого состоит в линейном статическом преобразовании входящего потока одного типа в выходящий поток другого типа. Модель преобразователя потока обычно выражается формулой

$$Out(t) = k \cdot In(t), \quad (2)$$

где k – постоянный коэффициент преобразования потока.

Размерность коэффициента определяется размерностями входного и выходного потоков. Если входной поток измеряется в единицах [a], а выходной в единицах [b], то коэффициент преобразования определяется как $[b]/[a]$.

Рассмотрим в качестве примера модели логистической цепи тепловую электрическую станцию (рис. 2).

Тепловые электрические станции работают на смеси угля и мазута. В составе может быть 90 % угля и 10 % мазута. Их соотношение меняется в зависимости от качества угля, но для простоты будем считать его постоянным.

При сгорании 1 кг смеси должно получаться 2 киловатт-часа электроэнергии или 2 килограмма водяного пара при температуре 130 градусов Цельсия.

Планирование логистической цепи должно выполняться с последнего звена, поскольку цель логистической цепи – обеспечение выходного потока в соответствии с планом.

Положим, такая станция должна обеспечивать потребителей электроэнергией в размере 50 мегаватт мощности и поставлять 20 тонн водяного пара в час.

Если взять в качестве единицы времени один час, то поставка электроэнергии определяется в размере 5 мегаватт-часов каждый час.

Если рассмотреть всю станцию как простой преобразователь потока, то коэффициент преобразования для электроэнергии 2 (киловатт-час)/(килограмм смеси), для пара 2 (килограмм водяного пара)/(килограмм смеси).

При установленных выходных потоках входной поток топливных ресурсов должен составлять: 50000 (киловатт-час) / 2 (киловатт-час)/(килограмм смеси) = 25000 килограмм смеси в час для производства электроэнергии и 20000 (килограмм водяного пара) / 2 (килограмм водяного пара)/(килограмм смеси) = 10000 килограмм смеси для производства водяного пара.

Итого усредненный по времени входной поток топливных ресурсов должен составлять 35 тонн смеси угля и мазута в час. Составляющие смеси поставляются отдельно, следовательно, в среднем в час на станцию должны поставляться 3,5 тонны мазута и 31,5 тонны угля.

Планирование такой цепи производится на основании данных о возможностях входного потока. Поставка угля и мазута осуществляется специализированными составами, которые имеют определенный график и ограничения. Так, если мазут поставляется не менее чем одной цистерной емкостью 25 тонн, то суточная потребность составляет $3,5 \times 24 / 25 = 3,36$ цистерны в сутки. Суточная потребность в угле – $31,5 \times 24 = 756$ тонн в сутки, или 37,8 цельнометаллических вагонов грузоподъемностью двадцать тонн.

Если максимальный перерыв между подходящими составами доходит до 12 часов, то минимальный объем складов должен быть $31,5 \times 12 = 378$ тонн угля и $3,5 \times 12 = 42$ тонны мазута. Если план поставки имеет отчасти случайный характер, а потребность в электроэнергии и в водяном паре меняется в течение суток, то для качественного планиро-

вания и предсказания поведения такой цепи необходимо построение полной математической модели цепи в соответствии с рис. 2 и ее анализ во времени.

Кроме перечисленных выше двух видов преобразователей потока в логистических цепях часто встречается элемент задержки потока.

Элемент задержки не меняет вид графика потока как накопитель и не меняет характер потока как преобразователь потока. Он моделирует транспортировку потока, устанавливая временную задержку между поставкой ресурса из предыдущего модуля логистической цепи и получением ресурса последующим модулем.

Математическая модель элемента задержки описывается уравнением:

$$Out(t) = In(t - \tau), \quad (3)$$

где t - время доставки элемента потока от выхода предыдущего модуля до входа последующего.

Рассмотрим изменение характера потока при добавлении в схему (рис. 1) задержки транспортировки.

Положим, что интервал времени доставки составляет 30 минут. Тогда результатом будет незначительное изменение графика (рис. 6), которое проявится в виде его сдвига вправо на 30 минут. Это смещение нельзя игнорировать, если ставится задача наиболее реального моделирования потока.

2. Колебания в логистической системе

Логистическая цепь, в составе которой есть элемент задержки, имеет склонность к автоколебательному процессу, который возникает при определенных условиях эксплуатации (рис. 9).

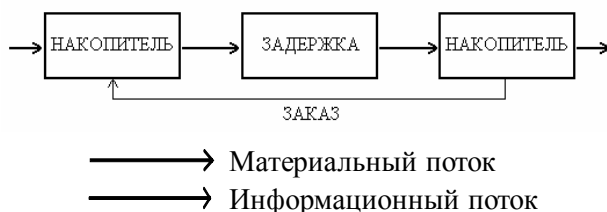


Рис. 9. Логистическая цепь с элементом задержки

Причиной возникновения автоколебаний является совпадение некоторых ее внешних и внутренних параметров. Если существуют переменные колебания спроса на выходе второго накопителя, то с определенной вероятностью полупериод этих колебаний может совпасть с интервалом времени задержки поставки. В этом случае, если информационный поток заказа не учитывает задержку поставки, возникает расходящийся автоколебательный процесс товарного потока.

Рассмотрим случай, когда потребность описывается рис. 10, единица времени – одни сутки.

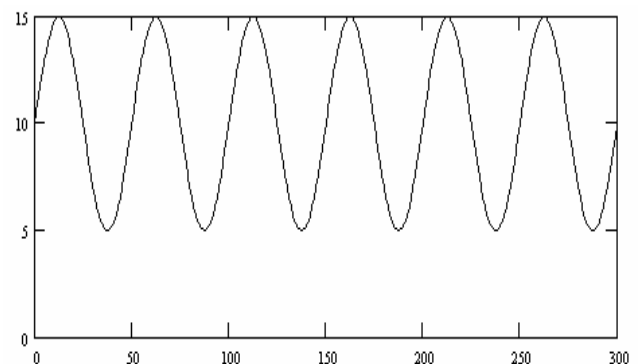


Рис. 10. Потребность в топливных ресурсах

Второй накопитель имеет очень малую емкость, не создает товарного запаса и передает полученный поток на выход полностью. Одновременно он оценивает разницу между поставкой и потребностью и изменяет заказ, который формирует на следующий день, на эту разницу без учета времени поставки.

Новый заказ вычисляется как сумма товарного потока на выходе второго накопителя и товарного недостатка, равного разнице между потребностью и поставкой текущего дня. Вычисленный недостаток может быть также отрицательным, что означает избыток товара. Заказ на следующий день передается первому накопителю и исполняется немедленно. Первый накопитель меняет величину товарного потока на своем выходе.

Пусть задержка поставки равна половине периода колебания потребности. Тенденция поведения логистической цепи представлена на рис. 11.

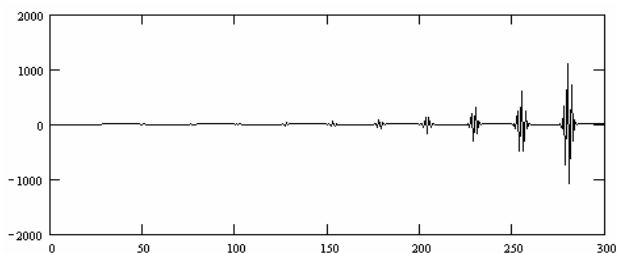


Рис. 11. Тенденция поведения логистической цепи

В течение длительного промежутка времени (1500 дней) тенденция будет выглядеть как представлено на рис. 12.

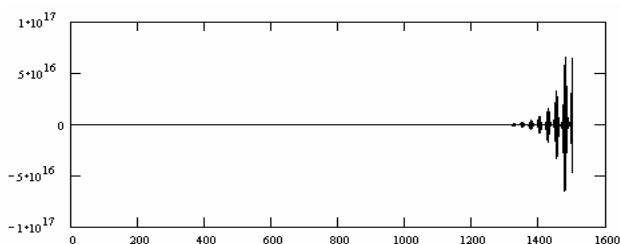


Рис. 12. Тенденция поведения логистической цепи в долгосрочном периоде

Однако в действительности логистический поток не может быть отрицательным. Его график, полученный при соответствующей коррекции модели, представлен на рис. 13, а для 1500 дней – на рис. 14.

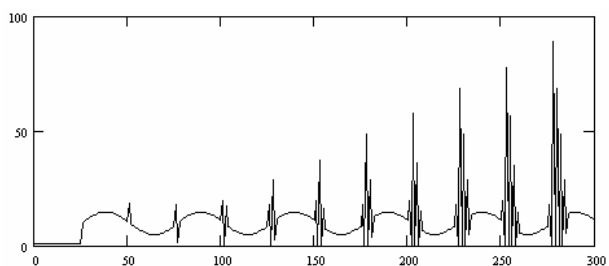


Рис. 13. Логистический поток

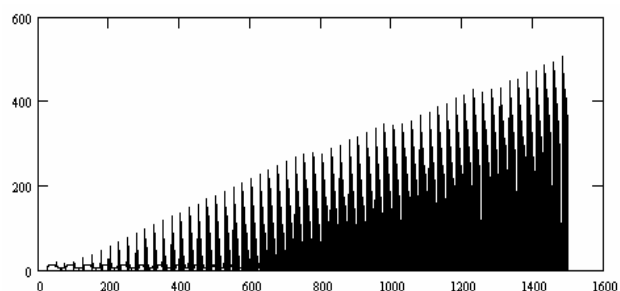


Рис. 14. Логистический поток в долгосрочном периоде

Модель показывает, что работа по описанной схеме с учетом реальных ограничений приведет к постоянной ошибке в снабжении. Разница между поставкой и потребностью за период в 300 дней показана на рис. 15.

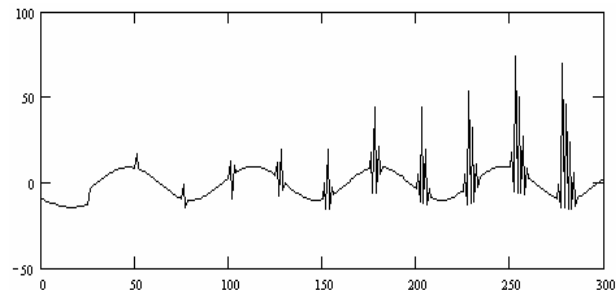


Рис. 15. Разница между поставкой и потребностью

График демонстрирует чередующиеся товарный недостаток и товарный избыток. Средний товарный избыток составляет 1 единицу товара в день или 347 единиц за триста дней при общей потребности в 3010 единиц. Однако, если рассмотреть более длительный период (1500 дней), то ситуация резко меняется. При потребности в 15010 единиц имеется избыток снабжения в 106835 единиц товара, то есть потребность перекрывается на 811 процентов.

При изменении соотношений между периодом колебания потребности и периодом доставки характер работы логистической цепи меняется незначительно.

Пусть период колебания потребности увеличивается на треть. При этом наблюдается усиление колебаний выходного потока и, как и ранее, товарный дефицит, чередующийся с периодами товарного избытка (рис. 16).

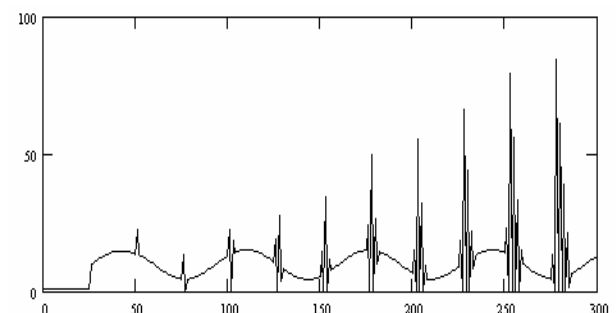


Рис. 16. Динамика выходного потока

На рис. 17 представлен график разницы между потребностью и поставками товарной продукции.

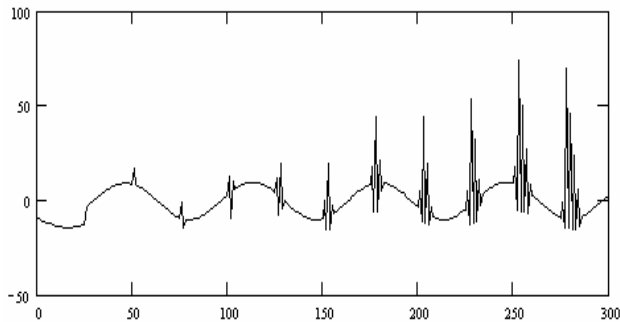


Рис. 17. Разница между потребностью и поставками товарной продукции

При общей трехсотдневной потребности в 3116 единиц товара наблюдается избыток в 115 товарных единиц. Как и в первом случае (рис. 13, 14), логистическая цепь нестабильна и на длительных интервалах времени показывает значительный товарный избыток.

Анализ логистической цепи показывает, что причиной такого поведения потоков является неправильный подход к планированию, не учитывающий задержку доставки товара. Попытка немедленного удовлетворения товарного недостатка и немедленной ликвидации товарного избытка, без учета затрат времени на исполнение заказа, приводит к крайне неустойчивому снабжению.

В моменты времени, кратные периоду доставки, возникают все более усиливающиеся колебания, вызываемые краткосрочным несоответствием спроса и предложения. Простых средств исправления этой ситуации в настоящее время не существует.

Работу логистической цепи можно сделать стабильной, если не пытаться скорректировать снабжение на величину избытка или дефицита, а формировать заказ в размере текущей потребности, то есть передавать первому накопителю заказ в размере сегодняшних продаж. Однако такой подход не решит вторую проблему этой цепи - устойчивое несоответствие спроса и предложения.

3. Проблема учета запасов в логистической цепи

Логистическая цепь работает в непрерывном времени. Вместе с тем, учет в логистической цепи ведется не непрерывно, а в фиксированные, заранее определенные моменты времени и на заранее определенных участках цепи. Иначе говоря, процесс учета количественных характеристик логистических потоков дискретен, и эта дискретность становится причиной потери части информации о фактических величинах логистических потоков.

Можно выделить три основные причины потери информации о логистических потоках:

- вследствие неполного покрытия дистанции логистической цепи средствами учета;
- вследствие неодновременности учета;
- вследствие обеих вышеперечисленных причин.

Рассмотрим возникновение потерь в логистических цепях. Пусть, например, имеется конвейер консервного завода, по которому движутся коробки упакованной товарной продукции **К**, с установленным контрольным датчиком **Д**, как это показано на рис. 18.

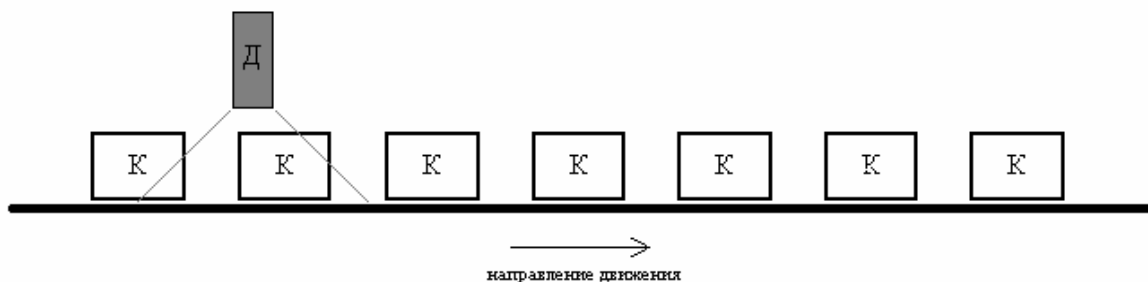


Рис. 18. Схема конвейера упакованной товарной продукции с одним контрольным датчиком

Подсчет количества ящиков, находящихся на конвейере, выполняется при помощи датчика, имеющего определенную зону контроля, в пределах которой собирается информация о количестве коробок с товарной продукцией. По подобной схеме наиболее часто строится оперативный учет произведенной товарной продукции. Недостаток этой схемы заключается в том, что она способна отследить только то количество коробок, которые прошли через данный участок конвейера за заданный интервал времени.

Рассмотренная схема не дает возможности оценить фактическую величину количества коробок, которые находятся в настоящий момент на конвейере, и, соответственно, оценить реальные запасы товарной продукции предприятия. Если попытаться охватить датчиками всю поверхность конвейера (рис. 19), то некоторые коробки попадут одновременно в зоны действия двух соседних датчиков, и оперативная информация о состоянии запасов произведенной товарной продукции предприятием окажется ложной из-за двойной регистрации.

Следовательно, такое усложнение системы учета не дает положительного эффекта, поскольку полученная информация оказывается недостоверной.

Существует весьма сложная схема полного учета запасов, построенная на основе приведенной на рис.19 схемы и заключающаяся в следующем. Каждая коробка имеет уникальную метку (например, цифровой код), которая может быть считана контрольным датчиком в режиме реального времени.

Датчики посылают информацию о считанных метках в центр обработки информа-

ции, где сведения о метках проверяются и повторяющиеся кодовые метки исключаются из списка. Число оставшихся кодовых меток будет равно реальным запасам предприятия. Поскольку такая схема сложна и дорога, то для многих предприятий предпочтительнее смириться с недостоверностью информации о запасах товарной продукции, поскольку возможные убытки от ошибок учета оказываются несущественными в сравнении со стоимостью централизованной схемы.

Аналогичная проблема возникает при попытке учесть реальные запасы на складе. Поскольку склад является непрерывно работающей системой, учет запасов в которой выполняется только на входе и выходе логистических потоков, то с течением времени и с учетом возникающих с определенной вероятностью ошибок учета информация о складских запасах товарной продукции также теряет достоверность.

Рассмотрим случай потери информации о запасах вследствие неодновременности учета (рис. 19). Поскольку коробки с товарной продукцией движутся по конвейеру, то они постоянно перемещаются из зоны действия одного датчика в зону действия соседнего.

Если информация со второго датчика будет получена до того, как коробка переместится в его зону, а информация с первого будет считана позже, после того, как коробка покинет его зону, то эта коробка вообще не будет учтена.

Реальное предприятие представляет собой несколько зон ответственности, между которыми движутся логистические потоки. Запасы в каждой зоне ответственности обычно известны, но неизвестно, какие за-

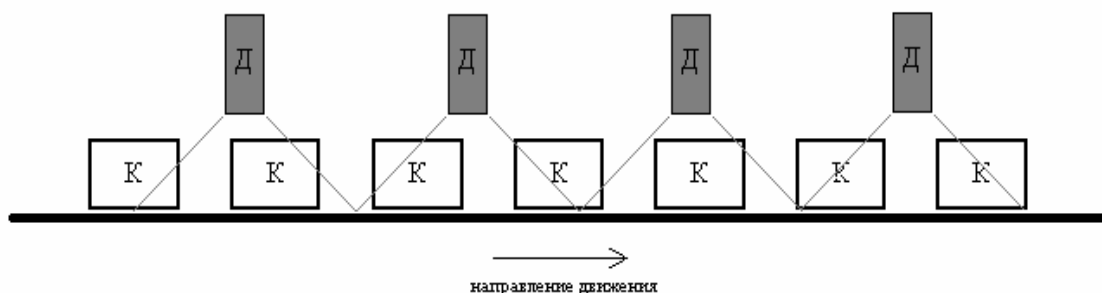


Рис. 19. Схема конвейера товарной продукции, полностью охваченной контрольными датчиками

пасы находятся в движении. Поэтому на реальном предприятии обычно возникают ошибки как неполноты покрытия, так и неодновременности учета.

Если предприятие имеет непрерывный цикл работы, то единственным способом учета запасов будет организация технического перерыва, когда все внешние логистические потоки и все внутренние исходящие логистические потоки останавливаются. В это же время внутренние входящие логистические потоки продолжают осуществлять движение.

Длительность технического перерыва определяется интервалом времени, достаточ-

ным для прохождения элемента по самому длинному внутреннему логистическому пути.

По истечении этого интервала времени движение по внутренним путям прекращается и все составляющие элементы логистических потоков собираются в зонах ответственности. В этот момент времени итоговые сведения о запасах товарной продукции становятся подлинными.

Технический перерыв возможен не на всех предприятиях, поэтому очень часто реальное предприятие не имеет достоверной оперативной информации об уровне состояния собственных запасов.

SOME ISSUES OF LOGISTIC NETWORK SIMULATION

© 2005 V. I. Voronov¹, V. A. Lazarev²

¹Moscow State Management University

²Vladivostok State University of Economics

Topical elements of logistic system simulation-logistic networks – are discussed in the paper.