

ПОРТЫ, ПОРТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО И ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА

DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-123-129

УДК 656.613/.615.073.2.001.18

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ГРУЗОВ НА МОРСКОЙ ТЕРМИНАЛ

В. И. Меньшиков, В. В. Шутов, А. С. Сандалов

*Мурманский государственный технический университет,
Мурманск, Российская Федерация*

Деятельность любого морского терминала транспортного узла в значительной степени определяется поступлением на него различных видов грузов. Груз обычно доставляют с предприятий поставщиков при помощи транспортных средств (по железной дороге, автомобильным транспортом). Для планирования эффективной работы морского терминала необходимо привлекать методы прогнозирования входных грузовых потоков. Отмечено, что в большинстве работ, посвящённых прогнозированию транспортных потоков в грузовых терминалах, рекомендуется использовать информацию, полученную из предыстории (для чего необходимо привлекать массивы известных результатов прогнозирования в различных ситуациях), сформированную на основании длительного анализа работы терминалов. Выше-названный метод прогнозирования малоприменим для тех случаев, когда часто меняется сеть поставщиков и направления прибытия груза. Некоторую трудность может представлять выбор факторов, определяющих ситуацию на морском терминале и величину прогнозируемых параметров грузовых потоков. Приведён пример практической реализации прогноза поступления груза в направления обработки груза на морском терминале. Практическая реализация формальной зависимости прогноза прибытия партий груза в обработку по направлению «берег – море» в морском терминале представлена в виде последовательности четырёх блоков: 1) рассчитываются необходимые величины; 2) выбираются прибывшие партии груза, которые отправлены в один и тот же день и которые удовлетворяют столбцам матрицы; 3) осуществляется расчёт апостериорных вероятностей для столбцов матрицы; 4) рассчитывается прогноз прибытия партий груза, находящихся в пути. В предлагаемом универсальном методе прогнозирования поступления грузов на морской терминал в транспортном узле по направлениям обработки «берег – море» используется не только статистика длительности транспортировки грузов до морского терминала, но и оперативная информация о поступлении отдельных партий этих грузов.

Ключевые слова: прогноз, время, прибытие, груз, терминал.

Для цитирования: Меньшиков В. И., Шутов В. В., Сандалов А. С. Прогнозирование поступления грузов на морской терминал // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 4. С. 123–129. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-123-129.

Введение

В судоходных компаниях транспортным операциям уделяют всё больше и больше внимания, т. к. они позволяют повысить полезность и используемость времени и места, что приводит к более высокой прибыли и увеличению акционерной стоимости компании. Теория и практика транспортных операций подтверждает, что для подобных процессов всегда используется системный подход в управлении, необходимый для повышения рентабельности и прочих экономических показателей [1, 2].

Для прогнозирования прибытия груза на терминал необходима следующая информация: величина груза, отправленного за каждые сутки периода, предшествующего настоящему моменту; сведения о прибывшем на терминал грузе с указанием даты отправки; априорные статистические характеристики времени движения груза. Поступление груза на терминал и передача информации о его движении происходят следующим образом. Поставщик ежедневно отправляет на морской терминал какое-то количество груза. Этот груз может быть отправлен одной или несколькими партиями. В конце суток поставщик сообщает администрации терминала сведения об общем количестве отправленного за сутки груза. Различные партии груза могут приходить на терминал в различное время. Время движения каждой партии груза в общем случае можно считать случайной величиной. Особо следует отметить, что на терминале обычно неизвестно разбиение груза на партии из-за того, что такое разбиение может производиться без участия поставщика [3].

Таким образом, *целью настоящей работы* является прогнозирование поступления грузов на морской терминал транспортного узла в следующих условиях: терминал получает однородные грузы от нескольких поставщиков; длительность транспортировки колеблется в широких пределах; поставщики отправляют грузы отдельными партиями; имеется информация о суммарной отправке каждым поставщиком по всем партиям за определённый интервал времени; отдельные партии, отправленные в один и тот же интервал, могут прибывать в различные моменты времени.

Формальная постановка задачи прогнозирования поступления грузов от поставщиков к терминалу

Будем считать, что величина груза G , подлежащая отправке поставщиками по направлениям «берег – море» на морской терминал, фиксирована и ограничена сверху. Более того, будем полагать, что информация о прибытии груза на этот терминал поступает в дискретные моменты времени $t = 0, 1, 2, \dots$ и прогноз тоже делается в дискретном времени. Пусть $t = 0$ – момент отправки груза поставщиком на морской терминал, а число различных способов отправки фиксировано и равно r . Будем дополнительно предполагать, что задан j -й способ отправки груза G , если указан набор чисел $(\lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \dots, \lambda_{Nj})$:

$$\lambda_{ij} \geq 0; \quad \sum_{i=1}^N \lambda_{ij} = 1,$$

где N – заранее фиксированное число.

Указание способа отправки означает, что весь груз G разделен на (не более чем) N партий x_i величиной $x_i = \lambda_{ij} G$. Пусть далее известно априорное распределение вида:

$$P = \{P_j\}_{j=1}^r,$$

где P_j – вероятность выбора j -го способа доставки груза на морской терминал.

При таком допущении будет априори известна матрица

$$\Lambda = \{\lambda_{ij}\}_{j=1+r}^{i+N},$$

число столбцов которой равно числу способов доставки груза, а элементы каждого столбца будут задавать размеры партий груза при фиксированном способе отправки, т. е. $\lambda_{ij} G$ – количество груза в i -й партии при отравке по j -му способу.

Введём семейство случайных величин $\{z_j\}_{j=1}^{j=r}$ следующим образом:

$$Z_j = \begin{cases} 1, & \text{если отправка произведена по } j\text{-му способу,} \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$$

При этом очевидно, что $P\{z = 1\} = P_j$.

С величиной каждой партии груза λ_{ij} свяжем случайную величину τ_{ij} , принимающую значения 1, 2, 3, ... и равную моменту прибытия груза на морской терминал транспортного узла со стороны «берега». Все величины $\{\tau_{ij}\}$ предполагаются независимыми в совокупности, а их распределения

$$f_{ij}(t) = P\{\tau_{ij} = t\}; \quad t = 1, 2, \dots$$

будем считать известными [4].

Определим теперь случайные процессы $\theta_{ij}(t)$ следующим образом:

$$\theta_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t \geq \tau_{ij}, \\ 0, & \text{если } t < \tau_{ij}. \end{cases}$$

В силу сделанных выше предположений $\theta_{ij}(t)$ – независимые в совокупности неоднородные марковские процессы с двумя состояниями. Если далее обозначить через $\eta(t)$ количество груза, прибывшего на морской терминал вплоть до момента t , то очевидно, что

$$\eta(t) = G \sum_{j=1}^r z_j \sum_{i=1}^N \lambda_{ij} \theta_{ij}(t).$$

Для точной постановки задачи далее необходимо дать описание информации, которая доступна персоналу терминала. Обозначим информацию, имеющуюся у персонала морского терминала к моменту времени t , через I_t . Тогда I_0 – это сведения о матрице Λ , распределении P и функциях $f_{ij}(t)$. Информация I_t , помимо этих сведений, включает в себя данные о величине партий груза, прибывших вплоть до момента t , т. е. о реализации процесса $\eta(t)$. Теперь уже можно точно сформулировать поставленную выше задачу: дать наилучший в среднеквадратическом прогноз математического ожидания случайного процесса $\eta(t+k)$ для $k = 1, 2, \dots$ на основе информации I_t .

Известно, что наилучший среднеквадратический прогноз всегда совпадает с условным математическим ожиданием [4]. Тогда необходимо искать величину, равную $M[\eta(t+k) | I_t, k = 1, 2, \dots]$, где M – символ математического ожидания. Однако в данном случае удобнее всё же использовать прогноз величины, заданной так:

$$\xi_{t,k}^{\Delta} = \eta_{t,k} - \eta_t,$$

и равную количеству груза, который прибудет на морской терминал транспортного узла в период $[t+1, t+k]$.

В силу определения процессов $\eta(t)$ и $\theta_{ij}(t)$ и случайных величин z_j имеем:

$$\begin{aligned} \langle \xi_{t,k}^{\Delta} \rangle &= M[\xi_{t,k}^{\Delta} | I_t] = M[\eta(t+k) - \eta(t) | I_t] = G \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^N \lambda_{ij} M\{z_j[\theta_{ij}(t+k) - \theta_{ij}(t)] | I_t\} = \\ &= G \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^N \lambda_{ij} P\{z_j = 1, \theta_{ij}(t+k) - \theta_{ij}(t) = 1 | I_t\} = \\ &= G \sum_{j=1}^r P\{z_j = 1 | I_t\} \sum_{i=1}^N \lambda_{ij} P\{\theta_{ij}(t+k) - \theta_{ij}(t) = 1 | z_j = 1, I_t\}, \end{aligned} \quad (1)$$

при этом апостериорные вероятности $P\{z_j=1 | I_t\}$ в этом выражении можно легко найти по формуле Байеса [5].

В том случае, если отправка произведена по способу j , реализация процесса $\eta(t)$ имеет скачки только размером $\{\lambda_{ij} G\}_{i=1}^N$. Следовательно, по реализации η_0^t процесса $\eta(t)$ на отрезке $[0, t]$ можно определить множество $V(t)$ тех способов отправки, вероятность которых равна нулю после получения информации I_t .

Очевидно, что

$$V(t) = \begin{cases} \emptyset, & \text{если } \eta_0^t = 0, \\ \{1 \leq j \leq r : \text{реализация } \eta_0^t \text{ имеет хотя бы один скачок, не совпадающий с } \lambda_{ij} G \\ \text{для } i = 1, 2, \dots, N\}, & \text{если } \eta_0^t \neq 0. \end{cases}$$

Тогда возможно окончательно вычислить:

$$P\{z_j = 1 | I_t\} = \begin{cases} 0, & \text{если } j \in V(t), \\ P_j / (1 - \sum P_k), & \text{если } j \notin V(t). \end{cases}$$

Заметим теперь, что

$$P\{\theta_{ij}(t+k) - \theta_{ij}(t) = 1 | z_j = 1, I_t\} = P\{\theta_{ij}(t+k) - \theta_{ij}(t) = 1 | \theta_{ij}(t)\} = \begin{cases} 0, & \text{если } \theta_{ij}(t) = 1, \\ P\{\theta_{ij}(t+k) = 1 | \theta_{ij}(t) = 0\}. \end{cases} \quad (2)$$

Действительно, фиксация способа отправки даёт возможность определить реализацию процессов $\theta_{ij}(t)$ по реализации η_0^t , в силу же независимости этих процессов и получается соотношение (2).

Таким образом, в предложенной методике прогнозирования для повышения точности предсказания должна использоваться информация о поступающих грузах, и на основе этой информации уже можно сделать прогноз на несколько суток вперёд прибытия груза на морской терминал. Точность прогноза в этом случае может быть оценена величиной среднеквадратического отклонения ошибки предсказания.

Пример практической реализации прогноза поступления груза в направления обработки груза на морском терминале

Для того чтобы иллюстрировать практическую реализацию прогноза поступления груза на направления обработки грузов в морском терминале, рассмотрим гипотетический пример. Пусть величина отправляемого груза $G = 1\,000$ условных единиц, а матрица Λ имеет вид:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0,4 & 0,3 \\ 0,5 & 0,2 & 0,6 & 0,3 \\ 0 & 0,3 & 0 & 0,4 \end{pmatrix}.$$

В данном случае определены четыре варианта отправки груза G , соответствующие четырём столбцам матрицы Λ . Пусть далее к моменту времени t на одно из направлений по обработке груза морского терминала прибыл груз в 300 условных единиц, а информация, поступающая персоналу этого терминала, представлена так:

$$I_t = I_0 \cup \{z_1 = z_3 = 0, \theta_{32}(t) \text{ или } \theta_{14}(t) \text{ равны } 1, \text{ остальные } \theta_{ij}(t), j = 2, 4, \text{ равны } 0\}.$$

Для определённости будем считать, что если $a = \lambda_{i_1 j} = \lambda_{i_2 j} = \dots = \lambda_{i_k j}$, где $i_1 > i_2 > \dots > i_k$, то первое прибытие груза aG соответствует появлению единицы в первой реализации $\theta_{ij}(t)$, а второе прибытие – во второй реализации $\lambda_{ij}(t)$ и т. д. Тогда можно найти

$$V(t) = \{1, 3\}, P\{\cdot | z_2 = 1, I_t\} = P\{\cdot | \theta_{12}(t) = \theta_{22}(t) = 0, \theta_{32}(t) = 1\}, \\ P\{\cdot | z_4 = 1, I_t\} = P\{\cdot | \theta_{14}(t) = 1, \theta_{24}(t) = \theta_{34}(t) = 0\}.$$

Пусть

$$I(j, t) = \{1 \leq i \leq N : \theta_{ij}(t) = 0\}, \quad 1 \leq j \leq r,$$

тогда $I(j, t)$ – это номера тех партий груза, которые при j -м способе отправки ещё не прибыли до момента t , и из выражений (1), (2) следует

$$\xi_{r,k} = G \sum_{j \in V(t)} P\{z_j = 1 | I_t\} \sum_{i \in I(j,t)} \lambda_{ij} P\{\theta_{ij}(t+k) = 1 | \theta_{ij}(t) = 0\}.$$

Теперь осталось вычислить $P\{\theta_{ij}(t+k) = 1 | \theta_{ij}(t) = 0\}$. Учитывая, что процессы $\theta_{ij}(t)$ марковские, для этого достаточно найти

$$P\{\theta_{ij}(t+k) = 1 | \theta_{ij}(t) = 0\}^\Delta = \varphi_{ij}(t).$$

Из введённых определений и формулы Байеса найдём

$$\varphi_{ij}(t) = P\{\tau_{ij} = t+1 | \tau_{ij} > t\} = P\{\tau_{ij} = t+1\} / P\{\tau_{ij} > t\} = f_{ij}(t+1) / \left(1 - \sum_{k=0}^t f_{ij}(k)\right). \quad (3)$$

Учитывая, что переходная матрица марковского процесса $\theta_{ij}(t)$ имеет вид

$$A(t) = \begin{pmatrix} 1 - \varphi_{ij}(t) & \varphi_{ij}(t) \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

нетрудно подсчитать

$$P\{\theta_{ij}(t+k) = 1 | \theta_{ij}(t) = 0\}^{\Delta} = \varphi_{ij}(t)^{(k)}, \quad \varphi_{ij}(t)^{(1)} = \varphi_{ij}(t),$$

а именно

$$\varphi_{ij}(t)^{(k)} = e[A(t)A(t+1)\dots A(t+k-1)]e_2^T, \quad (4)$$

где $e_1(1, 0)$, $e_2 = (0, 1)$, а T – знак транспонирования.

Из выражения (3) получим

$$\begin{aligned} \varphi_{ij}(t)^{(k)} &= \varphi_{ij}(t)^{(k-1)} + \varphi_{ij}(t+k-1) \prod [1 - \varphi_{ij}(t+s)]; \\ \varphi_{ij}(t)^{(0)} &= 0, \quad k = 1, 2, \dots \end{aligned}$$

(при $k = 1$ произведение в (4) полагаем равным 1). Тогда из выражения (1) с учётом формулы (4) окончательно можно найти формальную зависимость прогноза, записав её так:

$$\langle \xi(t, k) \rangle = \langle \xi_{t, k-1} \rangle + G \sum (P\{z_j = 1 | I_t\}) \sum \lambda_{ij} \{\varphi_{ij}(t+k-1) \prod [1 - \varphi_{ij}(t+s)]\}. \quad (5)$$

Практическую реализацию формальной зависимости (5) прогноза прибытия партий груза в обработку по направлениям «берег – море» в морском терминале можно представить в виде следующей последовательности:

- блок *первый*: рассчитываются величины $\varphi_{ij}(t)$;
- блок *второй*: выбираются прибывшие партии груза, которые отправлены в один и тот же день и которые удовлетворяют столбцам матрицы Λ ;
- блок *третий*: осуществляется расчёт апостериорных вероятностей для столбцов матрицы Λ : $P\{z_j = 1 | I_t\}$;
- блок *четвёртый*: по формуле (5) рассчитывается прогноз прибытия партий груза, находящихся в пути.

Заключение

При прогнозировании времени поступления партий груза на терминалы обычно рекомендуется использовать информацию, полученную из предыстории поставок, для чего необходимо привлекать массивы данных прогнозирования в различных ситуациях, сформированных на основе анализа достаточно длительного временного интервала работы терминала. Подобный метод прогнозирования, как правило, малоприменим для тех случаев, когда приходится иметь дело с часто меняющейся сетью поставщиков и направлений прибытия груза. Таким образом, предложенный нами метод прогнозирования, обладая определённой универсальностью, применим к использованию в вышеупомянутых случаях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андронов Л. П. Перевозка опасных грузов морем. М.: Транспорт, 1971. 208 с.
2. Барановский М. Е. Обеспечение несмещаемости навалочных грузов на судах. Л.: Судостроение, 1976. 72 с.
3. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем. СПб.: Професионал, 2006. 560 с.
4. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и её приложения. М.: Мир, 1976. Т. 2. 435 с.
5. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000. 383 с.

Статья поступила в редакцию 23.05.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Меньшиков Вячеслав Иванович – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры судовождения; kseniamgtu@rambler.ru.

Шутов Валентин Васильевич – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры судовождения; schutovan@yandex.ru.

Сандалов Артем Сергеевич – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; аспирант кафедры судовождения; schutovan@yandex.ru.



FORECASTING CARGO ARRIVAL TO SEA TERMINAL

V. I. Menshikov, V. V. Shutov, A. S. Sandalov

*Murmansk State Technical University,
Murmansk, Russian Federation*

Abstract. The paper highlights the operation processes at the terminals of the transport node, which, to a considerable extent, are defined by arrival different types of cargo. The cargo is usually delivered from the suppliers' enterprises with the help of transport facilities (by train/motor transport). To plan the efficient functioning of the sea terminal there should be used the methods of forecasting input cargo flows. It has been stated that most works devoted to forecasting traffic flows on cargo terminals are recommended to use information from the history (for which it is necessary to draw the arrays of well-known results of forecasting in different situation) based on the long-term analysis of the terminal operation. The above method of forecasting is of little use, when the supplier network and destinations of the cargo change frequently. A certain difficulty can present the choice of factors that define the situation at the sea terminal and the size of forecasted parameters of the cargo flow. There has been given an example of the practical forecasting of cargo arrival for handling at the sea terminal. The practical implementation of the formal dependence of forecasting the cargo arrival for processing in the direction "coast-sea" at the marine terminal is presented in the sequence of four blocks: 1) the necessary values are calculated; 2) the arrived consignments are selected that have been sent on the same day and satisfy the columns of the matrix; 3) posterior probabilities for the columns of the matrix are calculated; 4) forecasting of consignments arrival is calculated. In the proposed universal method of forecasting the arrival of goods to the marine terminal in the transport hub in the coast-sea processing directions there is used not only statistic data on the duration of cargo transportation to the marine terminal, but also operational information on the arrival of individual consignments.

Key words: forecast, time, arrival, cargo, terminal.

For citation: Menshikov V. I., Shutov V. V., Sandalov A. S. Forecasting cargo arrival to sea terminal. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;4:123-129. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-123-129.

REFERENCES

1. Andronov L. P. *Perevozka opasnyh gruzov morem* [Transportation of dangerous cargo by sea]. Moscow, Transport Publ., 1971. 208 p.
2. Baranovskij M. E. *Obespechenie neshchastnosti navalochnyh gruzov na sudah* [Ensuring non-removability of bulk cargo on ships]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1976. 72 p.
3. Snopkov V. I. *Tekhnologiya perevozki gruzov morem* [Technology of cargo transportation by sea]. Saint-Petersburg, Professional Publ., 2006. 560 p.

4. Feller V. *Vvedenie v teoriyu veroyatnostej i eyo prilozheniya* [Introduction to probability theory and its applications]. Moscow, Mir Publ., 1976. Vol. 2. 435 p.

5. Ventcel' E. S., Ovcharov L. A. *Teoriya sluchajnyh processov i eyo inzhenernye prilozheniya* [Theory of random processes and its engineering applications]. Moscow, Vysshaya shkola, 2000. 383 p.

The article submitted to the editors 23.05.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Menshikov Vyacheslav Ivanovich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Navigation; kseniamgtu@rambler.ru.

Shutov Valentin Vasilevich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Navigation; schutovan@yandex.ru.

Sandalov Artem Sergeevich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Navigation; schutovan@yandex.ru.

