

Информационные технологии

УДК 519.248

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ СУДОВ К ШЛЮЗАМ НА СУДОХОДНОМ КАНАЛЕ ДЛЯ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

И.М. Ахметзянов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, 1
E-mail: goldberg@inbox.ru

Рассматривается метод оценки времени прохода судов между шлюзами в условиях отсутствия на судах автоматических идентификационных систем. Метод основан на анализе статистической информации движения судов на судоходном канале и используется при создании систем диспетчерского регулирования.

Ключевые слова: судоходный канал, автоматическая идентификационная система, гидротехнические сооружения, диспетчерское регулирование.

В настоящее время бурными темпами идет развитие систем поддержки принятия решений диспетчерского регулирования (СППРДР) движения флота на судоходных каналах с системой шлюзов. Целью таких систем является повышение качества работы судоходных каналов (СК), а именно: минимизация времени прохождения судов на СК, эффективное управление водными ресурсами, позволяющее экономить денежные средства на сокращении количества холостых шлюзований и перераспределении водных потоков между шлюзами.

Для получения информации о текущем положении судов диспетчерскими службами применяются автоматические идентификационные системы (АИС). По информации министерства транспорта на 2011 год, количество судов на территории РФ, оборудованных бортовыми АИС, не превышает 80 % от общего числа многотоннажных, маломерных и пассажирских судов. Кроме того, расстояние между шлюзами может варьироваться от нескольких сот метров до нескольких десятков километров. Топологическая разрозненность шлюзов и береговых станций АИС, а также особенности заграждающего рельефа на участках СК создают зоны нечувствительности береговых станций. В связи с этим возникает задача прогнозирования времени прибытия судов к шлюзам.

Согласно [1] выделяют следующие виды судов:

- скоростные суда ($v \geq 30$ км/ч);
- маломерные суда;
- буксируемые составы;
- толкаемые составы;
- пассажирские суда;
- суда с опасными, взрывчатыми или отравляющими веществами;

Ильнур Мидхатович Ахметзянов, аспирант.

– самоходные грузовые суда и т. д.

Далее будем обозначать всю совокупность видов судов через множество $Ts = \{ts_l\}$, где $l = 1..L$.

В рамках судоходного канала пронумеруем шлюзы, а также области входа А и В судов в канал: $X = \{X_{Az1}, X_{z1z2}, \dots, X_{z(n-1)zn}, X_{znB}\} = \{X_{ij}\}$, где $i, j = [0..n+1]$, $i \neq j$. Участок X_{ij} совпадает с X_{ji} , отличие состоит лишь в направлении движения объекта, которое обозначим как r . Примем $r=0$ при движении судна от шлюза с меньшим номером к шлюзу с большим номером; $r=1$ при движении судна от шлюза с большим номером к шлюзу с меньшим номером. Тогда имеем следующие обозначения (1):

$$X_{i,j} = \begin{cases} X_{i,i+1}^r, r=0 \\ X_{i,i-1}^r, r=1 \end{cases} = \begin{cases} X_i^0 \\ X_i^1 \end{cases} = X_i^r = \begin{cases} X_i^r \\ X_i^r \end{cases}. \quad (1)$$

На каждом участке между шлюзами $X_i^r \in X$ можно выделить следующие промежутки (виды участков):

- участок с односторонним (поочередным) движением;
- участок с запрещением обгона и расхождения;
- участок с возможностью расхождения и обгона судов при ограничении скоростного режима.

Каждый такой промежуток обозначим как $x_{i,k}$, где $k=1..K_i$, K_i – количество промежутков, на которые разбит участок $X_i^r = \bigcup_{k=1}^{K_i} x_{i,k}^r$.

Следует отметить, что на всех видах участков существует максимально допустимое ограничение по скорости $\tilde{w}_{i,k}^r$:

$$\begin{aligned} \tilde{w}_{i,k}^r &= f(\tilde{v}_{i,k}^r, \tilde{v}_{Ts}), \\ \tilde{v}_{i,k}^r &= f(x_{i,k}^r), \\ \tilde{v}_{Ts} &= f(w_{iz}), \\ w_{iz} &= f(ts), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\tilde{v}_{i,k}^r$ – максимальная скорость объекта, движущегося в направлении r от шлюза (области входа) с номером i на промежутке k , указанная с помощью специальных знаков; \tilde{v}_{Ts} – максимальная скорость судна в зависимости от его типа, установленная нормативными документами для соответствующего судоходного канала; w_{iz} – водоизмещение судна в зависимости от типа судна ts . Тогда выражение для расчета максимально допустимой скорости объекта (верхней границы скорости) примет следующий вид:

$$\tilde{w}_{i,k}^r = \min(\tilde{v}_{i,k}^r, \tilde{v}_{Ts}). \quad (3)$$

В рассматриваемой модели объект движется со скоростью $\tilde{w}_{i,k}^r$ при выполнении следующих условий и ограничений:

- 1) на участке (подучастке) движению судна не препятствуют другие суда. То есть никто не пытается обогнать рассматриваемый объект или разойтись с ним;
- 2) нет возмущающего воздействия в виде команды диспетчера шлюза (канала) об изменении скоростного режима;

- 3) движение объекта не ограничено погодными условиями;
 4) на участке прохождения судна глубина канала не вносит изменений в скоростной режим объекта.

При выполнении условий (1) – (4) судоводитель руководствуется критерием минимизации времени прохождения судоходного канала, поэтому текущая скорость объекта $c_i \in C$ рассматривается как величина $w_{i,j,k}^r = \tilde{w}_{j,k}^r$ и вычисляется по формуле (3).

Рассмотрим влияние глубины канала на изменение скорости движения судна. Согласно работе [2] глубина канала (мелководье) влияет на параметры движения судна при выполнении следующего условия:

$$H_{zt} < 4 \cdot d + \frac{3 \cdot v_c^2}{g}, \quad (4)$$

где H_{zt} – глубина канала на данном участке, м; d – средняя осадка судна, м; v_c – скорость объекта c , м/с; g – ускорение свободного падения, м/с². Тогда потерю скорости на мелководье при плавании в зоне докритических скоростей можно приближенно рассчитать по эмпирической формуле [3]

$$\Delta v = \min(4, 4 \cdot \frac{H_{zt}}{d} - 34 \cdot \frac{v_c}{\sqrt{g \cdot H_{zt}}}; 0). \quad (5)$$

В формуле (5) величина Δv измеряется в %, тогда при $\tilde{w}_{i,k}^r = v_c$ имеем:

$$w_{i,k}^r = \tilde{w}_{i,k}^r + \frac{\tilde{w}_{i,k}^r \cdot \Delta v}{100\%}. \quad (6)$$

Учитывая условие (4), а также обозначив $w = w_{i,k}^r$, $\tilde{w} = \tilde{w}_{i,k}^r$, подставим (5) в (6). Тогда фактическая скорость движения объекта будет определяться следующим соотношением:

$$w = \tilde{w} + \min(0, 044 \cdot \tilde{w} \cdot \frac{H_{zt}}{d} - 0, 34 \cdot \frac{\tilde{w}^2}{\sqrt{g \cdot H_{zt}}}; 0), \text{ при } H_{zt} < 4 \cdot d + \frac{3 \cdot \tilde{w}^2}{g}. \quad (7)$$

Использование формулы (7) целесообразно в тех случаях, когда участок прохождения между шлюзами надлен зонами мелководья и нет никаких статистических данных по участку в целом или по конкретному судну.

Рассмотрим прогноз скорости движения объекта w на участке в условиях неопределенности при наличии информации о временах прохождения участка другими судами. Согласно проведенным автором исследованиям на Волго-Донском судоходном канале (ВДСК), время прохождения любого судна по произвольному участку между шлюзами есть случайная величина, подчиняющаяся нормальному закону распределения. В эксперименте была задействована информация по 150 объектам, курсирующим по территории ВДСК в период с августа 2007 г. по октябрь 2008 г. Взяты данные по 5 участкам между шлюзами, длина которых колеблется в диапазоне от 1 до 14,5 км. Объем проанализированных данных составил 42000 значений.

В ходе исследований по каждому объекту $c_i \in C$ для случайной величины Y из генеральной совокупности формировалась выборочная (y_1, y_2, \dots, y_n) объемом $n \in [30; 70]$, где Y – время прохождения объектом $c_i \in C$ участка X_j между шлюзами

j и $j+1$. Далее проводилась идентификация закона распределения. Выяснилось, что случайная величина Y распределена по общему нормальному закону распределения, плотность распределения вероятностей которого имеет следующий вид:

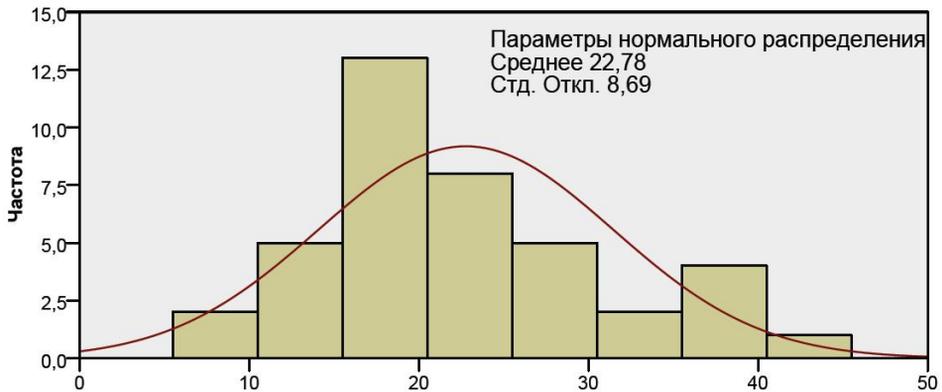
$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(y-\mu)^2}{2\cdot\sigma^2}}. \quad (8)$$

Идентификация закона распределения случайной величины Y проводилась на основе гипотезы H_0 – случайная величина Y распределена по нормальному закону распределения. Проверка гипотезы H_0 осуществлялась на основе непараметрического критерия согласия Колмогорова – Смирнова, статистика которого вычисляется по формуле

$$\lambda = \sqrt{n} \cdot \max_{\forall y} |F(y) - \tilde{F}(y)|, \quad (9)$$

где n – объем выборки, $F(y)$ – теоретическая функция распределения, $\tilde{F}(y)$ – выборочная функция распределения. Уровень значимости $\alpha = 0,05$.

На рисунке изображена гистограмма случайной величины Y_{n5} и наложенный на нее график функции плотности распределения вероятностей (ПРВ) нормального закона распределения, где Y_{n5} – время прохождения судна «Лакhta» между 5-м и 6-м шлюзами. Таким образом, исследования показали, что время прохождения судов между шлюзами есть случайная величина, распределенная по нормальному закону распределения.



Гистограмма с наложенной ПРВ нормального закона распределения

В условиях отсутствия статистических данных по конкретному судну, движущемуся по судоходному каналу, предлагается использовать накопленную статистику по участку между шлюзами, тогда среднюю скорость движения w_{ik} судна с номером i между шлюзами на k участке вычислим по формуле

$$w_{ik} = \frac{X_k \cdot m}{\sum_{\substack{i \neq j, \\ Ts_i = Ts_j}} \mu_{jk}}, \quad (10)$$

где X_k – длина участка с номером k между шлюзами; $j=1 \dots m$; m – количество судов, для которых накоплены статистические данные, такие что $Ts_i = Ts_j$, $i \neq j$; μ_{jk} –

математическое ожидание времени прохождения судном с номером j участка с номером k .

Если существует выборка (y_1, \dots, y_n) для случайной величины Y_i по рассматриваемому судну с номером i , объем и качество которой являются удовлетворительными, а именно: $n \geq 30$ – объем выборки; Y_i распределена по закону (8) на основании критерия со статистикой (9), тогда w_{ik} вычисляется по следующей формуле:

$$w_{ik} = \frac{X_k}{\mu_{ik}}. \quad (11)$$

Рассмотренный метод позволяет осуществлять проведение прогноза времени прибытия судов к шлюзам на основе статистической информации по шлюзу, по конкретному движущемуся объекту, а также с учетом областей на СК, представляющих собой мелководье. Использование метода оправдано в случае отсутствия на судне АИС или существования таких участков между гидротехническими сооружениями, на которых фиксируется продолжительное отсутствие сигнала АИС в силу особенностей заграждающего рельефа.

Данный метод может быть использован при решении следующих задач: анализ и совершенствование организационно-технологической структуры диспетчерского регулирования движения флота; создание программных систем поддержки диспетчерского состава, осуществляющего регулирование движения судов на СК.

Метод прогнозирования времени прибытия судов к шлюзам на СК, рассмотренный в данной статье, использовался автором при выполнении НИОКР «Разработка организационно-технологической структуры диспетчерского регулирования движения флота на Волго-Донском водном пути от Волгограда до Ростова-на-Дону на основе математической модели проводки судов».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила плавания по внутренним водным путям Российской Федерации.
2. Управление судном и его техническая эксплуатация / Под ред. А.И. Щетининой. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 656 с.
3. Справочник капитана дальнего плавания / Под ред. Г.Г. Ермолаева. – М.: Транспорт, 1983. – 211 с.

Статья поступила в редакцию 28 марта 2012 г.

A METHOD OF FORECASTING THE TIME FOR SHIP ARRIVALS AT NAVIGATION CANAL LOCKS FOR SUPERVISORY CONTROL SYSTEMS

I.M. Akhmetzyanov

Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov
1, 1-st Krasnoarmeyskaya st., Saint-Petersburg, 190005

This article describes the method of estimating the time a ship requires for passing between the shipping locks provided the ship in question does not have an automatic identity system. The method is based on the statistics of the ship traffic analysis in a navigation canal and is used for the developing of supervisory control systems.

Keywords: navigation canal, automatic identification system, hydraulic facilities, supervisory control.

Ilnur M. Akhmetzyanov, Postgraduate student.