

УДК 629.541.4  
Х 68

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПЕРЕВЕЗЕННЫХ ПАССАЖИРОВ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРЯМОГО СЛОЖНОГО РЕЙСА БЫСТРОХОДНОГО ПАССАЖИРСКОГО СУДНА С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Нгуен Гуй Хоанг, асп.;  
В. А. Некрасов, д-р техн. наук, проф.

*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

**Аннотация.** Приведены формулы для определения количества перевезенных пассажиров и продолжительности прямого сложного рейса быстроходного однокорпусного пассажирского судна с учетом стохастических факторов.

**Ключевые слова:** количество перевезенных пассажиров, продолжительность, прямой сложный рейс, стохастические факторы.

**Анотація.** Наведені формули для визначення кількості перевезених пасажирів і тривалості прямого складного рейсу швидкохідного однокорпусного пасажирського судна з урахуванням стохастичних факторів.

**Ключові слова:** кількість перевезених пасажирів, тривалість, прямий складний рейс, стохастичні фактори.

**Abstract.** The formulas for defining the number of passengers and the duration of a direct complex voyage of a high-speed monohull passenger ship considering the stochastic factors have been given.

**Keywords:** number of passengers, duration, direct complex voyage, stochastic factors.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одной из важнейших задач обеспечения эффективности системы быстроходных пассажирских судов (БПС), работающих с прямыми сложными рейсами, является оптимизация количества БПС, их главных характеристик и расписания работы. Для этого необходимо вычислить экономические показатели на основе определения количества перевезенных пассажиров и продолжительности рейса. Таким образом, поставленная задача является *актуальной*.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В научной литературе известны работы, посвященные расчету количества перевезенных пассажиров и продолжительности рейса пассажирских судов [1, 3, 5]. Однако в работе [3] расчеты выполнялись без учета стохастических факторов, в работах [1, 5] рассматривались только простые рейсы. Поэтому определение количества перевезенных пассажиров и продолжительности прямого сложного рейса БПС с учетом стохастических факторов становится особенно интересным.

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** – определение количества перевезенных пассажиров и продолжительности прямого сложного рейса БПС с учетом стохастических факторов.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Прямой сложный рейс БПС определяется перевозкой пассажиров от первоначального до конечного порта через промежуточные порты в прямом и обратном направлениях.

Предполагается система судов, совершающих рейсы между  $M$  портами, нумерующимися от 1 до  $M$ . Такая система рассматривается как многоканальная система обслуживания без ограничений на время ожидания [2]. Входящий поток требований – пассажиропоток, число каналов обслуживания – число рейсов, моменты обслуживания – моменты прихода судов в порт.

Для определения количества перевезенных пассажиров за рейс необходимо вычислить количество вошедших, вышедших пассажиров, количество пассажиров в очереди и количество свободных мест на судне в момент окончания посадки пассажиров в каждом порту.

Для определения продолжительности рейса необходимо вычислить время посадки, высадки пассажиров, время маневра и ходовое время для рейса.

Ходовое время судна при транспортировке пассажиров от порта №  $i$  до порта №  $(i + 1)$  для  $j$ -го рейса определяется по формуле  $t_{i,j}^x = S_i / \bar{v}_i$ , где  $S_i$  – расстояние между портами №  $i$  и №  $(i + 1)$ ;  $\bar{v}_i$  – средняя скорость судна на волнении на пути от порта №  $i$  до порта №  $(i + 1)$ , определяется по формуле  $\bar{v}_i = \bar{\eta}_{vi} v_0$  ( $\bar{\eta}_{vi}$  – коэффициент, учитывающий падение скорости судна на волнении;  $v_0$  – скорость судна на тихой воде).

Коэффициент  $\bar{\eta}_{vi}$  определяется по выражению

$$\bar{\eta}_{vi} = \int_0^{h_{3\%кр}} \bar{\eta}_{vi}^0(h_{3\%})_i P(h_{3\%})_i d(h_{3\%})_i,$$

где  $\bar{\eta}_{vi}^0$  – относится к балльности, характеризуемой высотой волны 3%-й обеспеченности  $(h_{3\%})_i$ ;  $(h_{3\%})_{кр}$  –

критическая высота волны 3%-й обеспеченности;  $p(h_{3\%})_i$  – плотность вероятности долговременного распределения  $(h_{3\%})_i$ .

Для определения коэффициента О.И. Соломенцевым предложены зависимости [4]:

$$\bar{\eta}_{\text{вн}}^0 = \exp \left[ -a_{\text{Fr}} a_{C_b} \left( \frac{10 \cdot (h_{3\%})_i}{L} \right)^{n_h} \right];$$

$$a_{\text{Fr}} = 1,0 + 1,5 \exp[-3,0(\text{Fr} - 0,2)];$$

$$a_{C_b} = (1 + \Delta_L) \left( \frac{L}{150} \right)^{50 \left( \frac{L}{100 C_b^2} + 0,3 \right)};$$

$$\Delta_L = 2,5 \sin \left[ \frac{5(L - 50)}{100} \right] \geq 0; n_h = 1,0 + \frac{L - 50}{100}.$$

Здесь  $L$  – длина судна по конструктивной ватерлинии, м;  $C_b$ ,  $\text{Fr}$  – соответственно коэффициент общей полноты и число Фруда.

Обозначения  $N_{i,j}$ ,  $N'_{k,j}$  представляют собой соответственно количество пассажиров, поступивших за период между последовательными моментами обслуживания в  $i$ -й порт (в прямом направлении) и в  $k$ -й порт (в обратном направлении) для  $j$ -го рейса;  $N_{i,j}^{\text{ВВХ}}$ ,  $N_{k,j}^{\text{ВВХ}}$  – соответственно количество вышедших пассажиров в  $i$ -м порту (в прямом направлении) и в  $k$ -м порту (в обратном направлении) для  $j$ -го рейса;  $t_{i,j}^{\text{МН}}$ ,  $t_{k,j}^{\text{МН}}$  – соответственно время маневра (время подхода к причалу, швартовки, отхода и т. д.) в  $i$ -м порту (в прямом направлении) и в  $k$ -м порту (в обратном направлении) для  $j$ -го рейса;  $N^{\text{ВМ}}$  – пассажировместимость судна.

Принято допущение, что случайные величины  $N_{i,j}$ ,  $N'_{k,j}$ ,  $N_{i,j}^{\text{ВВХ}}$ ,  $N_{k,j}^{\text{ВВХ}}$  подчиняются распределению

Пуассона, а  $t_{i,j}^{\text{МН}}$ ,  $t_{k,j}^{\text{МН}}$  – нормальному распределению, в которых количество перевезенных пассажиров и продолжительность рейса определяются следующим образом.

• **В прямом направлении**

**В порту № 1**

Для определения количества вошедших пассажиров  $N_{1,j}^{\text{ВХ}}$ , количества свободных мест на судне в момент окончания посадки пассажиров  $N_{1,j}^{\text{СВ}}$  и количества пассажиров в очереди  $N_{1,j}^{\text{ОЧЕР}}$  необходимо сравнить пассажировместимость судна с суммой количества пассажиров в очереди от предыдущего рейса  $N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}}$  и количества поступающих пассажиров в этот порт  $N_{1,j}$ .

Если  $N_{1,j} + N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}} \geq N^{\text{ВМ}}$ , то  $N_{1,j}^{\text{ВХ}} = N^{\text{ВМ}}$ ;  $N_{1,j}^{\text{СВ}} = 0$ ;

$$N_{1,j}^{\text{ОЧЕР}} = N_{1,j} + N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}} - N^{\text{ВМ}}.$$

Если  $N_{1,j} + N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}} < N^{\text{ВМ}}$ , то  $N_{1,j}^{\text{ВХ}} = N_{1,j} + N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}}$ ;

$$N_{1,j}^{\text{СВ}} = N^{\text{ВМ}} - N_{1,j} - N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}}; N_{1,j}^{\text{ОЧЕР}} = 0.$$

Таким образом, величины  $N_{1,j}^{\text{ВХ}}$ ,  $N_{1,j}^{\text{СВ}}$  и  $N_{1,j}^{\text{ОЧЕР}}$  определяются по выражениям:

$$N_{1,j}^{\text{ВХ}} = \min(N_{1,j} + N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}}; N^{\text{ВМ}});$$

$$N_{1,j}^{\text{СВ}} = \min(N^{\text{ВМ}} - N_{1,j} - N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}}; 0);$$

$$N_{1,j}^{\text{ОЧЕР}} = \max(N_{1,j} + N_{1,j-1}^{\text{ОЧЕР}} - N^{\text{ВМ}}; 0).$$

Время посадки пассажиров определяется в зависимости от количества вошедших пассажиров и нормы посадки  $A$ :  $t_{1,j}^{\text{ВХ}} = N_{1,j}^{\text{ВХ}} / A$ .

Ходовое время судна при транспортировке пассажиров от порта № 1 до порта № 2 находится по формуле

$$t_{1,j}^{\text{Х}} = S_1 / \bar{v}_1,$$

где  $S_1$  – расстояние между портами № 1 и № 2;  $\bar{v}_1$  – средняя скорость судна на волнении.

**В порту №  $i$  ( $i = 2 \dots M - 1$ )**

Для определения количества вошедших пассажиров  $N_{i,j}^{\text{ВХ}}$ , количества свободных мест на судне в момент окончания посадки пассажиров  $N_{i,j}^{\text{СВ}}$  и количества пассажиров в очереди  $N_{i,j}^{\text{ОЧЕР}}$  необходимо сравнить сумму свободных мест от предыдущего порта  $N_{i-1,j}^{\text{СВ}}$  и количество вышедших пассажиров в этом порту  $N_{i,j}^{\text{ВВХ}}$  с суммой количества пассажиров в очереди от предыдущего рейса  $N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}}$  и количества поступающих пассажиров в этот порт  $N_{i,j}$ .

Если  $N_{i-1,j}^{\text{СВ}} + N_{i,j}^{\text{ВВХ}} \geq N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}} + N_{i,j}$ , то  $N_{i,j}^{\text{ВХ}} = N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}} + N_{i,j}$ ;

$$N_{i,j}^{\text{ОЧЕР}} = 0; N_{i,j}^{\text{СВ}} = N_{i-1,j}^{\text{СВ}} + N_{i,j}^{\text{ВВХ}} - N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}} - N_{i,j}.$$

Если  $N_{i-1,j}^{\text{СВ}} + N_{i,j}^{\text{ВВХ}} < N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}} + N_{i,j}$ , то  $N_{i,j}^{\text{ВХ}} = N_{i-1,j}^{\text{СВ}} + N_{i,j}^{\text{ВВХ}}$ ;

$$N_{i,j}^{\text{СВ}} = 0; N_{i,j}^{\text{ОЧЕР}} = N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}} + N_{i,j} - N_{i-1,j}^{\text{СВ}} - N_{i,j}^{\text{ВВХ}}.$$

Таким образом, величины  $N_{i,j}^{\text{ВХ}}$ ,  $N_{i,j}^{\text{СВ}}$  и  $N_{i,j}^{\text{ОЧЕР}}$  определяются по выражениям:

$$N_{i,j}^{\text{ВХ}} = \min(N_{i-1,j}^{\text{СВ}} + N_{i,j}^{\text{ВВХ}}; N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}} + N_{i,j});$$

$$N_{i,j}^{\text{СВ}} = \min(N_{i-1,j}^{\text{СВ}} + N_{i,j}^{\text{ВВХ}} - N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}} - N_{i,j}; 0);$$

$$N_{i,j}^{\text{ОЧЕР}} = \max(N_{i,j-1}^{\text{ОЧЕР}} + N_{i,j} - N_{i-1,j}^{\text{СВ}} - N_{i,j}^{\text{ВВХ}}; 0).$$

Время посадки и высадки пассажиров определяется в зависимости от количества вошедших и вышедших пассажиров и нормы посадки (высадки)  $A$ :

$$t_{i,j}^{\text{ВХ}} = N_{i,j}^{\text{ВХ}} / A; t_{i,j}^{\text{ВВХ}} = N_{i,j}^{\text{ВВХ}} / A.$$

Ходовое время судна при транспортировке пассажиров от порта №  $i$  до порта №  $(i + 1)$  определяется по формуле  $t_{i,j}^x = S_i / \bar{v}_i$ .

**В порту №  $M$**

В этом порту остальные пассажиры на судне выходят. Поэтому время высадки пассажиров определяется по выражению

$$t_{M,j}^{вмх} = \frac{\sum_{i=1}^{M-1} N_{i,j}^{вх} - \sum_{i=2}^{M-1} N_{i,j}^{ввых}}{A}$$

**• В обратном направлении**

В этом направлении количество вошедших пассажиров, количество свободных мест на судне в момент окончания посадки пассажиров, количество пассажиров в очереди, время посадки, высадки пассажиров и ходовое время определяются аналогично определению в прямом направлении по следующим выражениям.

**В порту №  $M$ :**

$$N_{M,j}^{вх'} = \min(N'_{M,j} + N_{M,j-1}^{очер'}; N^{вм});$$

$$N_{M,j}^{очер'} = \max(N'_{M,j} + N_{M,j-1}^{очер'} - N^{вм}; 0);$$

$$N_{M,j}^{св'} = \min(N^{вм} - N'_{M,j} - N_{M,j-1}^{очер'}; 0);$$

$$t_{M,j}^{вх'} = N_{M,j}^{вх'} / A, \quad t_{M,j}^{с'} = S_{M-1} / \sqrt{v'_{M-1}}$$

**В порту №  $k$  ( $k = 2 \dots M - 1$ ):**

$$N_{k,j}^{вх'} = \min(N_{k+1,j}^{св'} + N_{k,j}^{ввых'}; N_{k,j-1}^{очер'} + N'_{k,j});$$

$$N_{k,j}^{очер'} = \max(N_{k,j-1}^{очер'} + N'_{k,j} - N_{k-1,j}^{св'} - N_{k,j}^{ввых'}; 0);$$

$$N_{k,j}^{св'} = \min(N_{k+1,j}^{св'} + N_{k,j}^{ввых'} - N_{k,j-1}^{очер'} - N'_{k,j}; 0);$$

$$t_{k,j}^{вх'} = N_{k,j}^{вх'} / A; \quad t_{k,j}^{ввых'} = N_{k,j}^{ввых'} / A, \quad t_{k,j}^{с'} = S_{k-1} / \sqrt{v'_k}$$

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] **Бойко, А. П.** Разработка методики оптимального проектирования судов с малой площадью ватерлинии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03 / А. П. Бойко. – Николаев : НУК, 2010.
- [2] **Клейрок, Л.** Вычислительные системы с очередями [Текст] / Л. Клейрок. – М. : Мир, 1979. – 600 с.
- [3] **Леви, Б. З.** Пассажирские суда прибрежного плавания [Текст] / Б. З. Леви. – Л. : Судостроение, 1975. – 320 с.
- [4] **Соломенцев, О. И.** Инженерная методика расчета потери скорости на волнении для одно- и двухкорпусных судов [Текст] / О. И. Соломенцев // Сб. науч. трудов НКИ. – Николаев : НКИ, 1991. – С. 45–55.
- [5] **Чан, В. М.** Математические модели и алгоритмы определения характеристик прибрежных пассажирских паромов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03 / В. М. Чан. – Николаев : НУК, 2009. – 275 с.

**В порту № 1:**

$$t_{1,j}^{ввых'} = \left( \sum_{k=2}^M N_{k,j}^{вх'} - \sum_{k=2}^{M-1} N_{k,j}^{ввых'} \right) / A.$$

Таким образом, количество перевезенных пассажиров  $N_j^{пасс}$ , стояночное время  $t_j^{ст}$ , время маневра  $t_j^{мн}$ , ходовое время  $t_j^x$  и продолжительность  $j$ -го рейса  $t_j^p$  определяются по формулам:

$$N_j^{пасс} = \left( \sum_{i=1}^{M-1} N_{i,j}^{вх} + \sum_{k=2}^M N_{k,j}^{вх'} \right) = \left( \sum_{i=2}^M N_{i,j}^{ввых} + \sum_{k=1}^{M-1} N_{k,j}^{ввых'} \right);$$

$$t_j^{ст} = \left( \sum_{i=1}^{M-1} t_{i,j}^{вх} + \sum_{k=2}^M t_{k,j}^{вх'} \right) + \left( \sum_{i=2}^M t_{i,j}^{ввых} + \sum_{k=1}^{M-1} t_{k,j}^{ввых'} \right) = \frac{2 \cdot N_j^{пасс}}{A};$$

$$t_j^{мн} = \sum_{i=1}^M t_{i,j}^{мн} + \sum_{k=1}^M t_{k,j}^{мн'};$$

$$t_j^x = \sum_{i=1}^{M-1} t_{i,j}^x + \sum_{k=1}^{M-1} t_{k,j}^{с'} = \sum_{i=1}^{M-1} \frac{S_i}{v_i} + \sum_{k=1}^{M-1} \frac{S_i}{v'_i};$$

$$t_j^p = t_j^x + t_j^{ст} + t_j^{мн} = \sum_{i=1}^{M-1} t_{i,j}^x + \sum_{k=1}^{M-1} t_{k,j}^{с'} + \frac{2 \cdot N_j^{пасс}}{A} + \sum_{i=1}^M t_{i,j}^{мн} + \sum_{k=1}^M t_{k,j}^{мн'}.$$

**ВЫВОДЫ**

1. Приведенные формулы определения количества перевезенных пассажиров и продолжительности прямого сложного рейса быстроходного однокорпусного пассажирского судна учитывают стохастические факторы.

2. Определение количества перевезенных пассажиров и продолжительности прямого сложного рейса БПС дает возможность расчетов экономической эффективности, поиска оптимального числа судов, их основных характеристик и возможность оптимизации расписания работы системы судов.

© Нгуен Гуй Хоанг, В. О. Некрасов

Надійшла до редколегії 31.01.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК канд. техн. наук, проф. НУК А. Ф. Галь