

УДК 629.541.4

DEFINITION OF ECONOMIC PERFORMANCE OF HIGH-SPEED PASSENGER VESSELS IN THE INITIAL STAGES OF DESIGN**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЫСТРОХОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ****Н. Н. Nguen, PhD student****Г. Х. Нгуен, аспирант***National Shipbuilding University, Ukraine**Національний Університет Кораблестроєння, Україна***ABSTRACT**

Definition of economic performance high-speed passenger vessels, accomplish-complex flights on a definite line in the initial stages of design is given in the paper.

Keywords: high-speed passenger vessels, economic performance, complex flights, the initial stages of design.

Постановка проблемы. Если в 1960-80 годах в центре внимания проектантов были в основном технические проблемы (поиск оптимальных гидродинамических схем, двигатель-двигательных комплексов, исследования в области мореходности и прочности судов с динамическими принципами поддержания и т.д.), то к началу 90-х годов резко возрастают требования к экономическому обоснованию проектов.

Оптимизация проекта быстроходных пассажирских судов (БПС) по экономическим критериям становится такой же необходимой, как и обеспечение высоких технико-эксплуатационных характеристик и безопасности плавания.

В связи с этим для решения задачи оптимизации в качестве ее целевой функции (*CF* – *criterion function*) предполагается использование критерия “стоимость-эффективность” в виде [1]

$$CF = \frac{M[P]}{p_0} \rightarrow \max,$$

где $M[P]$ – математическое ожидание прибыли; p_0 – вероятность невыполнения судами основных функциональных задач.

Значение *CF* оптимизационной задачи проекта БПС определяется на основе расчета экономических показателей. Однако этот расчет оказывается не столь простым, так как методы технико-экономического анализа, детально разработанные для традиционных типов судов, не в полной мере применимы к БПС. Поэтому возникает необходимость в определении экономических показателей БПС. Особое значение имеет определение таких показателей для начальных стадий проектирования.

Анализ последних достижений и публикаций. В научной литературе известно достаточно много публикаций, посвященных расчету экономических показателей пассажирских судов [2–5]. В то же время, в работах [2–4] расчет проводится на основании приближенных зависимостей без учета сезонных и метеорологических факторов. В [5] расчет выполняется для судов, совершающих простые рейсы. Поэтому рассмотренная в статье задача является достаточно актуальной.

Цель работы – определение экономических показателей БПС, совершающих прямые сложные рейсы на определенной линии на начальных этапах проектирования.

Изложение основного материала исследования. Предполагается, что n судов с одинаковыми характеристиками (главными размерениями, скоростью, пассажироместимостью и др.) совершают рейсы между M пунктами, нумерующимися в порядке от 1 до M . При этом возможны следующие схемы работы судов на линии в день:

1. n судов совершают последовательно рейсы с интервалом между отходами t_{in} ;
2. n_1 судов совершают последовательно рейсы, начинающиеся от пункта 1 с интервалом между отходами t_{in1} . В это же время n_2 судов ($n_2 = n - n_1$) совершают последовательно рейсы, начинающиеся от пункта M с интервалом между отходами t_{in2} . Такие рейсы условно называются встречными.

Возможны следующие схемы работы судов на линии в течение недели:

1. Ежедневно;
2. По определенным дням.

Такая система судов рассматривается как многоканальная система обслуживания без ограничений на время ожидания [6,7]. Входящий поток требований – пассажиропоток с интенсивностью λ (чел/час) подчиняется закону распределения Пуассона. Число каналов обслуживания – число рейсов; моменты начала обслуживания – время прихода судов в пункт.

Для анализа процесса функционирования такой системы и расчета экономических показателей, вероятности невыполнения судами основных функциональных задач предполагается имитационная модель этой системы, общая схема которой представлена на рис. 1.

В течение заданного периода эксплуатации перед выходом судна в рейс производится проверка на возможность выполнения рейса по гидрометеорологическим условиям. Если шторма нет, то рейс выполняется. Если шторм есть, то судно ждет улучшения погоды. Гидрометеорологические условия задаются режимными распределениями скоростей ветра, высот волн 3% обеспеченности и продолжительностью штормов по каждому месяцу для указанного района эксплуатации [8].

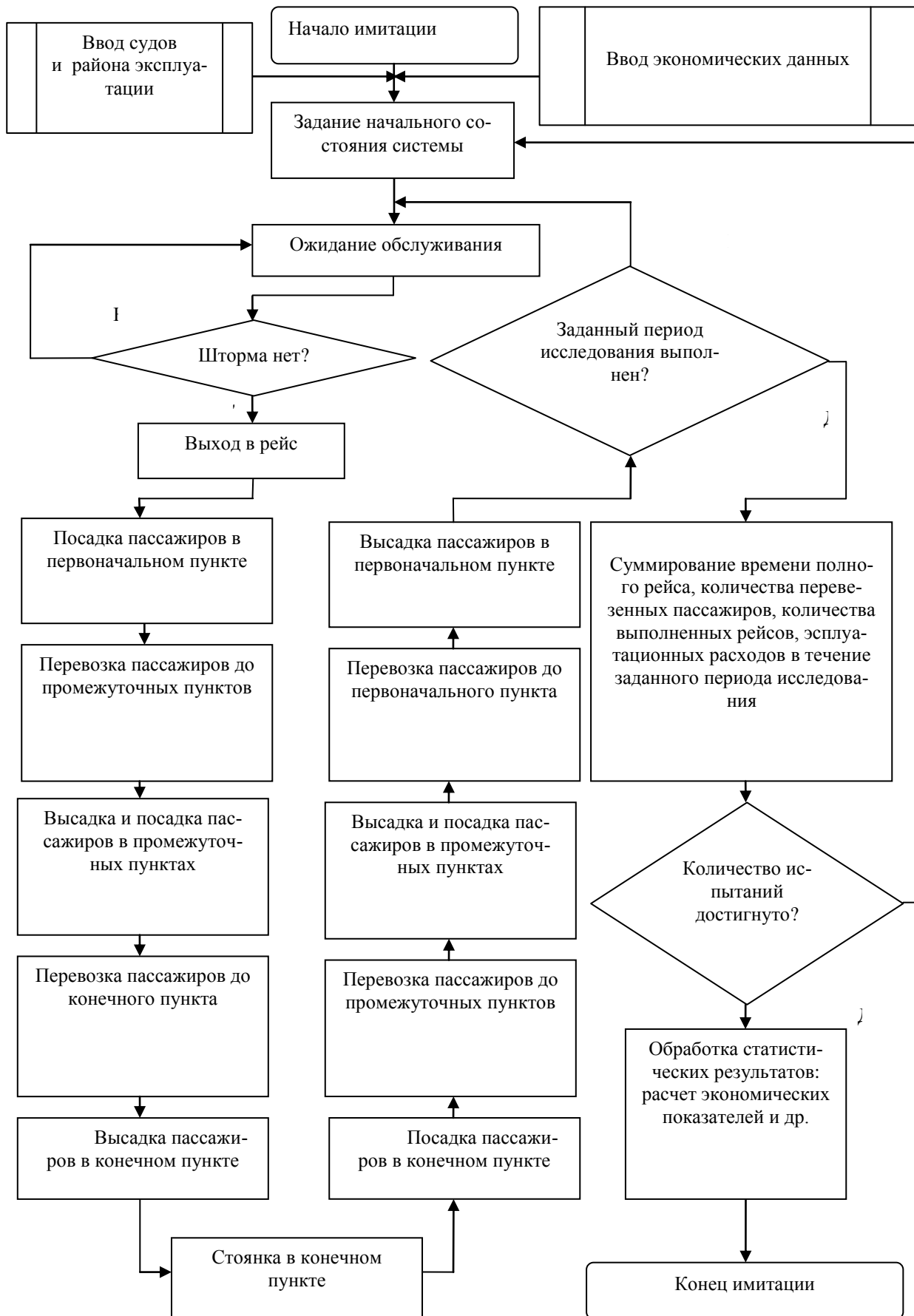


Рис. 1. Схема функционирования системы БПС

Вероятность невыполнения основных задач функционирования судами определяется в зависимости от погодных условий по выражению

$$P_0 = \frac{N_{dayStorm}}{N_{day}},$$

где $N_{dayStorm}$ – число штормовых дней в течение заданного периода времени; N_{day} – число дней в этом течении периода;

Математическое ожидание прибыли $M[P]$ от эксплуатации в течение заданного периода времени:

$$M[P] = M[I - C - K],$$

где I – совокупный доход; C – эксплуатационные расходы; K – величина капиталовложений (стоимость судна и проценты по выплате кредита).

Совокупный доход находится по формуле

$$I = C_{pas.mil} N_{pas} Z_{trip} N_{trip},$$

где $C_{pas.mil}$ – стоимость проезда, \$/чел.миль; N_{pas} – среднее количество перевезенных пассажиров за рейс, чел.; N_{trip} – число выполненных рейсов судами в течение заданного периода времени; Z_{trip} – протяженность рейса, миль.

Число выполненных рейсов в течение заданного периода исследования N_{trip} определяется по формуле

$$N_{trip} = N_{tripDay} N_{DayRun},$$

где $N_{tripDay}$ – число выполненных рейсов в день определяется в зависимости от режима работы судов следующим образом:

1. Если n судов совершают последовательные рейсы с интервалом t_{in} между отходами судов от момента t_{start} к моменту t_{finish} , то $N_{tripDay}$ рассчитывается по формуле

$$N_{DayRun} = \text{Trunc} \left[\frac{t_{finish} - t_{start} - t_{trip}}{t_{in}} \right] + 1,$$

где функция $\text{Trunc}[x]$ определяет целую часть числа x ; t_{trip} – продолжительность рейса судов определяется по *выражению*

$$t_{trip} = t_{run} + t_{stop} + t_{mane} = \frac{2}{v} \sum_{i=1}^{M-1} S_i + \sum_{i=1}^M \frac{Q_i}{A_{fit}} + t_{term} + t_{mane},$$

здесь t_{run} – ходовое время, час; t_{stop} – стояночное время, час; t_{mane} – время маневра, час; S_i – расстояние между пунктами i и $(i+1)$, миль; \bar{v} – средняя скорость хода судна с учетом ее падения на волнении для данного рейса, уз. (определяется в зависимости от скорости судна на тихой воде, высоты волны 3%

обеспеченности и главных размерений судна); Q_i – количество вошедших и вышедших пассажиров в i -ом пункте, пасс.; A_{fit} – норма посадки и высадки пассажиров, чел/час; t_{term} – стояночное время в конечном пункте, подчиняется равномерному закону распределения, час.

2. Если n судов совершают встречные рейсы, то $N_{tripDay}$ рассчитывается по формуле

$$N_{tripDay} = N_{tripDay1} + N_{tripDay2},$$

где $N_{tripDay1}$ – число выполненных рейсов n_1 судами, начинающихся от пункта 1; $N_{tripDay2}$ – число выполненных рейсов n_2 судами, начинающихся от пункта M . Значения этих величин определяются по выражениям:

$$N_{tripDay1} = \text{Trunc} \left[\frac{t_{finish} - t_{start} - t_{trip}}{t_{in1}} \right] + 1;$$

$$N_{tripDay2} = \text{Trunc} \left[\frac{t_{finish} - t_{start} - t_{trip}}{t_{in2}} \right] + 1.$$

Количество перевезенных пассажиров за j -й рейс в день вычисляется по выражению

$$N_j^{pas} = \sum_{i=1}^{M-1} N_{i,j}^{pas} + \sum_{i=2}^M N_{i',j}^{pas'},$$

где $N_{i,j}^{pas}$, $N_{i',j}^{pas'}$ – соответственно количеству вошедших пассажиров в i -ом пункте в прямом направлении и i' -ом пункте в обратном направлении.

Значение $N_{i,j}^{pas}$ для j -го рейса находится по выражению

$$N_{i,j}^{pas} = \min(N_{i-1,j}^{free} + N_{i,j}^{out}; N_{i,j-1}^{wait} + N_{i,j}),$$

где $N_{i-1,j}^{free}$ – число свободных мест на судне в моменте выхода судна от $(i-1)$ -го пункта; $N_{i,j}^{out}$ – количество вышедших пассажиров в i -ом пункте; $N_{i,j-1}^{wait}$ – количество пассажиров в очереди, ожидающих следующий рейс (j -ый рейс) в моменте выхода судна $(j-1)$ -го рейса от i -го пункта; $N_{i,j}$ – количество поступающих пассажиров в i -ый пункт от момента выхода судна $(j-1)$ -го рейса от i -го пункта к моменту прихода судна j -го рейса до этого пункта или количество поступающих пассажиров в i -ый пункт во время ожидания $t_{i,j}^{wait}$. Значение $N_{i,j}$ определяется в зависимости от времени ожидания и интенсивности пассажиропотока λ по формуле: $N_{i,j} = t_{i,j}^{wait} \lambda$.

Количество вошедших пассажиров в i' -ом пункте в обратном направлении $N_{i',j}^{pas'}$ определяется аналогично.

Расходы на эксплуатацию находятся по формуле

$$C_{oper} = C_{va} + C_{fix},$$

где C_{va} – переменные расходы; C_{fix} – постоянные расходы.

Переменные эксплуатационные расходы включают в себя следующие составляющие:

$$C_{va} = C_{inport} + C_{fuel} + C_{oil},$$

где C_{inport} – затраты в порту; C_{fuel} – расходы на топливо; C_{oil} – расходы на смазочное масло.

Затраты в порту для ПБС вычисляются по выражению

$$C_{inport} = (c_{ship} + c_{navig}) N_{inport} LBH + c_{berth} N_{day} nLBH,$$

где c_{ship} – ставка корабельного сбора, \$/м³; c_{navig} – ставка навигационного сбора, \$/м³; c_{berth} – ставка причального сбора, \$/м³; N_{inport} – число судозаходов в порт; L , B , H – длина, ширина и высота борта судна соответственно, м.

Расходы на топливо

$$C_{fuel} = c_{fuel} m_{fuel} N_{trip},$$

где c_{fuel} – стоимость 1 т топлива, \$/т; m_{fuel} – количество топлива на один рейс, т.

Расходы на смазочное масло

$$C_{oil} = c_{oil} m_{oil} N_{trip},$$

где c_{oil} – стоимость 1 т масла, \$/т; $m_{oil} = 0,05 m_{fuel}$ – количество масла на один рейс, т.

Постоянные эксплуатационные расходы включают в себя следующие составляющие:

$$C_{fix} = C_{crew} + C_{rep} + C_{insur} + C_{amor} + C_{adm},$$

где C_{crew} – расходы на содержание экипажа; C_{rem} – расходы на ремонт и снабжение; C_{insur} – расходы на страхование; C_{amor} – амортизационные расходы; C_{adm} – административно-управленческие, береговые расходы.

Расходы на содержание экипажа учитывают заработную плату и вознаграждения, расходы по социальному страхованию, отчисления в пенсионный и другие фонды, питание и транспортные расходы:

$$C_{crew} = n(c_{crew} N_{crew} T_{crew}),$$

где c_{crew} – стоимость содержания одного члена экипажа, \$/мес.; N_{crew} – количество членов экипажа судна, чел.; T_{crew} – период эксплуатации, мес.

Расходы на ремонт и снабжение, страхование, амортизационные, административно-управленческие и береговые определяются в зависимости от строительной стоимости судна:

$$C_{rep} = n \left(k_{rep} C_{buil} \frac{N_{day}}{365} \right); C_{insur} = n \left(k_{insur} C_{buil} \frac{N_{day}}{365} \right);$$

$$C_{amor} = n \left(k_{amor} \cdot C_{buil} \frac{N_{day}}{365} \right); C_{adm} = n \left(k_{adm} \cdot C_{buil} \frac{N_{day}}{365} \right),$$

где $k_{rep} = 0,005...0,03$ – норма расходов на ремонт и снабжение; $k_{insur} = 0,01...0,03$ – норма расходов на страхование; $k_{amor} = 0,057...0,062$ – норма амортизационных расходов; $k_{adm} = 0,009...0,015$ – норма административно-управленческих и береговых расходов. Диапазон этих значений нормативов определяется в соответствии со сложившейся в мире практикой расчета постоянных эксплуатационных расходов быстроходных пассажирских судов.

Строительная стоимость судна находится по выражению

$$C_{buil} = C_{met} + C_{out} + C_{mach} + C_{work},$$

где C_{met} , C_{out} , C_{mach} , C_{work} – соответственно затратам на создание металлического корпуса, оборудования, механизмов судна, и выполнения работ по строительству.

Стоимость составляющих C_{buil} рассчитывается по формулам:

$$C_{met} = c_{met} P_{met}; C_{out} = c_{out} P_{out}; C_{mach} = c_{mach} P_{mach}; C_{work} = C_{basic} + C_{overh} + C_{alloc} + C_{reser},$$

где P_{met} , P_{out} , P_{mach} – масса металлического корпуса, оборудования и механизмов судна, т; c_{met} , c_{out} , c_{mach} – удельная стоимость на единицу массы металлического корпуса, оборудования и механизмов; C_{basic} – основная зарплата рабочих; C_{overh} – накладные расходы; C_{alloc} – отчисление; C_{reser} – запас расхода. Значения c_{met} , c_{out} , c_{mach} в этой модели являются случайными величинами, генерирующимися в соответствии с заданными параметрами и типом закона распределения.

Основная зарплата рабочих определяется по формуле

$$C_{basic} = c_{basic} k_{incre} T_{w.hour},$$

где c_{basic} – стоимость 1 нормо-часа; $k_{incre} = 1,852$ – коэффициент увеличения основной заработной платы; $T_{w.hour}$ – трудоемкость проектирования и постройки судна, нормо-часы.

Остальные составляющие стоимости работы вычисляются по следующим формулам:

$$C_{overh} = k_{overh} C_{basic}; C_{alloc} = k_{alloc} (C_{basic} + C_{overh}); C_{reser} = k_{reser} (C_{basic} + C_{overh}),$$

где $k_{overh} = 0,9...1,5$ – коэффициент накладных расходов; $k_{alloc} = 0,3...0,4$ – норматив отчислений с зарплаты; $k_{reser} = 0,05...0,1$ – коэффициент запаса.

Тогда формула определения затрат на выполнении работ по строительству имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} C_{work} &= C_{basic} + k_{overh} C_{basic} + k_{alloc} (C_{basic} + C_{overh}) + k_{reser} (C_{basic} + C_{overh}) \\ &= C_{basic} + k_{overh} C_{basic} + k_{alloc} (C_{basic} + k_{overh} C_{basic}) + k_{reser} (C_{basic} + k_{overh} C_{basic}) \\ &= C_{basic} (1 + k_{reser} + k_{alloc}) (1 + k_{overh}). \end{aligned}$$

Рассмотрим пример определения экономических показателей модулем “ModelFuntioningHSPV”, созданным автором в среде программирования Delphi 7.0. в трех следующих случаях:

1. Одно судно совершает последовательные рейсы с интервалом между отходами $t_{in} = 3,5$ час.

2. Два судна совершают последовательные рейсы с интервалом между отходами $t_{in} = 2,0$ часа.

3. Два судна совершают встречные рейсы с одинаковым интервалом между отходами $t_{in1} = t_{in2} = 3,5$ час.

The screenshot shows the 'Начальные исходные данные' (Initial Data) tab of the HSPV software. The interface is divided into several sections:

- Период исследования (Research Period):** Start (С) is 01.06.2012, End (ПО) is 31.08.2012.
- Время работы судов в день (Ship Working Time):** Start (С) is 8:30:00, End (ПО) is 19:30:00.
- Режим работы судов в неделю (Ship Working Mode):** 'Ежедневно' (Daily) is selected.
- Режим работы судов в день (Ship Working Mode):** 'Встречными рейсами' (Meeting routes) is selected. Interval between departures is 2 hours.
- Характеристики судна (Ship Characteristics):**
 - Количество судов: 2
 - Длина судна по КВЛ, м: 23,1
 - Ширина судна по КВЛ, м: 5,6
 - Осадка судна, м: 0,95
 - Высота борта судна, м: 2,40
 - Скор. судна на тихой воде, уз: 27,0
 - Мощность ГД, кВт: 1700
 - Водоизмещение, т: 53
 - Пассажировместимость, чел: 120
- Число периодов исслед. (Number of periods):** 1000

Buttons at the bottom include 'Умолчание', 'Сброс', 'Расчет', 'OK', and 'Отмена'.

Рис. 2. Начальные условия задачи

The screenshot shows the 'Характеристики пунктов' (Point Characteristics) tab of the HSPV software. The interface is divided into several sections:

- Количество пунктов (Number of points):** 3
- Название пунктов (Point Names):**
 - Пункт 1: Ялта
 - Пункт 2: Гурзуф
 - Пункт 3: Алушта
 - Пункт 4: (empty)
 - Пункт 5: (empty)
 - Пункт 6: (empty)
 - Пункт 7: (empty)
 - Пункт 8: (empty)
 - Пункт 9: (empty)
 - Пункт 10: (empty)
 - Пункт 11: (empty)
 - Пункт 12: (empty)
 - Пункт 13: (empty)
 - Пункт 14: (empty)
 - Пункт 15: (empty)
- Расстояние между пунктами (Distance between points):**
 - S_i - Расстояние между пунктами № i и $(i+1)$, миль
 - S_1 : 7.3, S_2 : 10.4, S_3 : (empty), S_4 : (empty), S_5 : (empty), S_6 : (empty), S_7 : (empty), S_8 : (empty), S_9 : (empty), S_{10} : (empty), S_{11} : (empty), S_{12} : (empty), S_{13} : (empty), S_{14} : (empty)
- Additional options (all expanded):**
 - + Распределение пассажиропотока, чел/час: >>
 - + Распределение количества вышедших пассажиров, чел: >>
 - + Норма посадки и высадки пассажиров, чел/час: 600
 - + Распределение времени маневра, час: >>
 - + Распределение стояночного времени в конеч. пункте, час: >>

Buttons at the bottom include 'Умолчание', 'Сброс', 'Расчет', 'OK', and 'Отмена'.

Рис. 3. Исходные данные о маршруте и пассажиропотоке

В трех случаях пассажирские суда ежедневно совершают рейсы на линии: Ялта - Гурзуф - Алушта в районе 2 Черного моря с 1-го июня по 31-ое августа 2012 г. Начальные условия задачи указаны на рис.2 и рис. 3.

Для определения экономических показателей использовались экономические данные, соответствующие указанному периоду моделирования. Такие данные представлены на рис. 4.

При расчете капитальных вложений в постройку судна предполагается, что собственные денежные средства заказчика составили 15%, а остальные 85% инвестиций – это банковский кредит. Стоимость проезда – 0,247\$/чел.миль.

Рис. 4. Экономические данные

В результате имитационного моделирования системы судов были получены следующие результаты:

Таблица 1. Полученные результаты

Название	Случай 1	Случай 2	Случай 3
Количество судов	1	2	2
Среднее время полного рейса, час.	3,023	2,925	3,143
Среднерейсовая скорость, уз.	23,822	23,822	23,822
Среднее количество перевезенных пассажиров за рейс, чел.	281	251	224
Среднее число выполненных рейсов в день, рейс.	3	5	6
Вероятность выполнения основных задачи функционирования	0,963	0,963	0,963
Средняя стоимость судна, тыс.\$	282,071	282,071	282,071
Средние эксплуатационные расходы, тыс.\$	184,901	310,984	369,802
Средние доходы от эксплуатации, тыс.\$	641,279	954,692	1022,395
Средняя прибыль от эксплуатации, тыс. \$	169,736	70,423	79,308

Таким образом, в 1-ом случае (одно судно совершает последовательные рейсы с интервалом между отходами $t_{in} = 3,5$ час.) получена прибыль от эксплуатации в течение заданного периода времени большее, чем в случае 2 и случае 3.

Вывод и перспективы дальнейших исследований

1. В статье было проанализировано различные возможные схемы работы судов на линии и предложены формулы для определения экономических показателей системы БПС.
2. Результаты данной статьи могут быть использованы в судоходной компании при оценке экономической эффективности системы БПС, определении пассажировместимости, скорости хода, количества судов для определенной линии, определении их режима работы, а также при решении задачи выбора оптимальных основных элементов БПС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов В.А. Задача проектирования судна для условий рыночной эксплуатации [Текст] / В.А. Некрасов, Н.Н.Микоша // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2006. – № 2 (407). – С. 3–12.
2. Леви Б.З. Пассажирские судна прибрежного плавания [Текст] / Б.З. Леви. – Л.: Судостроение, 1975. – 320 с.
3. Akagi S. Design Evaluation of Transport Economy for Fast Ferry [Текст] / S. Akagi, H. Tada, F. Nakahata, K. Fujita // The Journal of the Kansai Society of Naval Architects. – 1997. – № 228. – P. 243–252.
4. Karayannis T. The Introduction of High-Speed Ferries into the Eastern Mediterranean [Текст] / T. Karayannis, A. Papanikolaou and A.F. Molland // Proceedings of the International Congress of International Maritime Association of Mediterranean (IMAM'2000), 2–6 April 2000. – Ischia, 2000. – 11 p.
5. Бойко А.П. Моделирование элементов рейса пассажирского судна с малой площадью ватерлинии [Текст] / А.П. Бойко, А.В. Бондаренко // Вісник Одеського національного морського університету: зб. наук. пр. – 2010. – № 31.– С. 160–169.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко. – Москва, 1968. – 355 с.
7. Кельтон В.Д., Лоу А.М. Имитационное моделирование [Текст] / В.Д. Кельтон, А. М. Лоу. – СПб.: Питер, 2004. – 847 с.
8. Российский морской регистр судоходства. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей [Текст] / Российский морской регистр судоходства. – СПб., 2006. – 357 с.