

УДК 629.5.01

THE METHOD OF EFFICIENCY CALCULATION FOR A HIGH SPEED RO-PAX CATAMARANS IN THE CONCEPTUAL DESIGN**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ СКОРОСТНЫХ АВТОПАССАЖИРСКИХ КАТАМАРАНОВ ПРИ КОНЦЕПТУАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

A.V. Bondarenko, PhD, *associate professor*, **D.T. Bui**, PhD student
А.В. Бондаренко, к.т.н., доцент, **Д.Т. Буй**, аспирант

National University of Shipbuilding, Ukraine
Національний університет кораблестроєння, Україна

ABSTRACT

The method for calculating the efficiency of high speed ro-pax catamarans is provided in the research paper. The scheme of ro-pax catamaran operation is proposed. Calculation of building and operational costs with estimation of the risk of accidents are presented. Proposed method is implemented on Delphi 7 software.

Keywords: ro-pax catamaran, efficiency, scheme of functioning, costs of risk, conceptual design.

Постановка проблемы в общем виде

При оптимизационном проектировании автопассажирских катамаранов необходимо решать задачу оценки экономической эффективности. Под экономической эффективностью понимают степень соответствия, между полученным полезным эффектом и затратами на достижение этого эффекта.

При учете стохастичности условий эксплуатации экономическая эффективность может быть однозначно охарактеризована тремя показателями: величиной полезного эффекта, вероятностью его достижения, затратами ресурсов на достижение этого эффекта с заданной вероятностью.

Так как оптимальный вариант судна выбирается только на основе показателя эффективности, то рассмотренный вопрос в статье является актуальным.

Анализ последних достижений и публикаций

В научной литературе немного публикаций, посвященных данной тематике [1, 8]. Определение строительной стоимости автопассажирских катамаранов рассмотрено в [2], а алгоритм расчета эксплуатационных расходов для этих судов представлен в [8]. Анализируя представленные публикации, следует отметить отсутствие учета риска при оценке эффективности катамаранов. Современная теория проектирования судов предусматривает разработку проекта с учетом риска, что позволяет повысить безопасность еще на этапе разработки проекта, а также оценить эффективность мер по

повышению безопасности. Поэтому, необходимо применить теорию риска при оценке эффективности скоростных автопассажирских катамаранов.

Цель работы – разработка методики оценки эффективности скоростных автопассажирских катамаранов.

Изложение основного материала

В основу оценки эффективности скоростных автопассажирских катамаранов положена модель функционирования. Предполагается, что n автопассажирских катамаранов с одинаковыми характеристиками совершают рейсы между двумя портами. Эти суда могут работать последовательно или встречными рейсами.

Пассажиропоток и количество автомобилей, подлежащих перевозке, являются случайными величинами и задаются определенными законами распределения.

Гидрометеорологические условия имитируются режимными распределениями скорости ветра и высотой волны 3% обеспеченности. Если погодные условия плохие, то рейс отменяется, и судно ожидает улучшения условий погоды. Вероятность аварий судна от столкновения и посадки на мель, а также вероятность повреждения соединительной конструкции от слеминга определяются в зависимостях от характеристик судна. Общая схема модели функционирования автопассажирских катамаранов показана на рис. 1.

Для решения задачи оптимизации в качестве ее целевой функции CF предполагается использование критерия стоимость-эффективность в виде:

$$CF = \frac{M(P)}{P_0} \rightarrow \max ,$$

где $M(P)$ – математическое ожидание прибыли; P_0 – вероятность невыполнения судами основных функциональных задач.

Вероятность невыполнения основных задач функционирования судами определяется по следующей формуле:

$$P_0 = (1 - P_{st}) \prod_{i=1}^n (1 - P_{aci}) ,$$

где P_{st} – вероятность наступления плохих погодных условий, P_{aci} – вероятность возникновения аварийной ситуации от i -го источника (фактора).

Вероятность отмены рейса из-за погодных условий определяется в соответствии с заданным законом распределения для района эксплуатации:

$$P_{st} = \frac{N_{dayStorm}}{N_{day}} ,$$

где $N_{dayStorm}$ – количество штормовых дней; N_{day} – количество дней в течение заданного периода эксплуатации.

Математическое ожидание прибыли $M(P)$ от эксплуатации в течение заданного периода времени:

$$M(P) = M(I - C - R),$$

где I – совокупный доход; C – эксплуатационные расходы; R – расходы на ликвидацию последствий аварийных ситуаций (рисков).



Рис. 1. Схема функционирования автопассажирских катамаранов
Расходы на риски определяются по следующей формуле:

$$R = \sum_{i=1}^n P_{aci} C_i,$$

где C_i – ущерб от i -ой аварии; P_{aci} – вероятность возникновения i -ой аварии.

Значение ущерба часто рассчитывается на основании статистических данных. Анализ статических данных авариям скоростных судов показал, что аварийные ситуации возникают из-за следующих основных причин: столкновения, контакта, пожара или взрыва, посадки на мель, потери водонепроницаемости корпуса, отказов машин и механизмов.

Вероятность гибели судна от столкновения, контакта, посадки на мель можно определить на основании вероятности того, что судно не утонет при затоплении отсеков. Эта величина вычисляется через вероятность выживания, или достижимого индекса деления на отсеки A :

$$A = \sum p_i s_i,$$

где подстрочный индекс i представляет собой рассматриваемую зону повреждения (группу отсеков) в пределах деления судна на отсеки. Деление на

отсеки рассматривается в продольном направлении, начиная с самой дальней кормовой зоны.

Значение p_i представляет вероятность того, что только рассматриваемая зона i будет затоплена, независимо от любого горизонтального деления на отсеки, но с учетом поперечного деления на отсеки. Значение s_i представляет вероятность выживания после затопления рассматриваемой зоны i .

Минимальное значение индекса A называется требуемым индексом деления на отсеки Q . Значение Q зависит от размера судна, количества пассажиров и других факторов.

$$A \geq Q.$$

Расчеты по определением значений p_i , s_i , Q выполняются по рекомендациям SOLAS [3, 9].

Вероятность того, что судно утонет при затоплении отсеков P_A определяется по зависимости:

$$P_A = 1 - A.$$

Таким образом, вероятность того, что судно утонет при столкновении или посадке на мель рассчитывается по формуле:

$$P(F_B) = P(B)P(P_A|B),$$

где $P(B)$ – вероятность столкновения или посадки судна на мель; $P(P_A|B)$ – условная вероятность того, что судно утонет при столкновении или посадке на мель.

Вероятность повреждения соединительной конструкции от слеминга рассчитывается по следующей зависимости:

$$P_s = \sum_{i=1}^n P(x_i),$$

где P_s – вероятность повреждения моста катамарана из-за слеминга; $P(x_i)$ – вероятность повреждения пластины, находящейся на i -ом сечении; x_i – абсцисса расчетного сечения (начало координат на носовом перпендикуляре); n – количество расчетных пластин по продольному направлению.

Вероятность повреждения пластины, находящейся на i -ом сечении рассчитывается следующим образом:

$$P(x_i) = \exp \left[- \left(\frac{h_{HT}^2(x_i)}{2\sigma_\zeta^2(x_i)(1 + \bar{\delta}_2(x_i))^2} + \frac{\bar{P}}{k_1 k_2 \sigma_\zeta^2(x_i)} \right) \right],$$

где $h_{HT}(x_i)$ – эффективный (с учетом сдвига с нулевой линии процесса относительных перемещений) вертикальный клиренс [4]; $\bar{\delta}_2(x_i)$ – относительный динамический подъем при продольной качке [5]; $\sigma_\zeta(x_f)$, $\sigma_\zeta(x_f)$ – стандарты относительных перемещений и скоростей на встречном волнении; k_1 – коэффициент пропорциональности между ударным давлением и скоростью

относительных перемещений (имеет размерность плотности) [6]; k_2 – коэффициент, учитывающий степень аэрации потока между корпусами (при отсутствии крыла $k_2 = 1$, а при его наличии – $k_2 = 0,7$); \bar{p} – несущая способность расчетной пластины моста [7];

Доход автопассажирского катамарана определяется по формуле:

$$I = C_{Pax.mil} \cdot N_{Pax} R_{Trip} N_{Work} + C_{Cax.mil} N_{Cax} R_{Trip} N_{Work},$$

где $C_{Pax.mil}$ – цена пассажирского билета, \$/чел. миль; N_{Pax} – среднее количество перевезенных пассажиров за рейс, чел.; R_{Trip} – протяженность рейса, миль; N_{Work} – количество выполненных рейсов за заданный период времени; $C_{Cax.mil}$ – цена провозки автомобиля, \$/авт. миль; N_{Car} – среднее количество автомобилей за рейс.

Значение N_{work} определяется по формуле:

$$N_{Work} = N_{TripDay} T_{Work},$$

где $N_{TripDay}$ – количество рейсов, выполняемых всеми судами на линии в день; T_{Work} – количество рабочих дней.

Заданный период времени определяется по зависимости:

$$T = N_{Acc} \bar{T}_{Rep} + T_{Storm} + T_{Work} + T_{Maint},$$

где T – заданный период эксплуатации судна, дней; N_{Acc} – количество аварийных рейсов; \bar{T}_{Rep} – среднее время ремонта, дней; T_{Storm} – количество штормовых дней; T_{Maint} – время технических обслуживаний, дней.

С учетом вероятности возникновения аварий P_{Acc} :

$$N_{Acc} = P_{Acc} (N_{Acc} + N_{Work});$$

Следовательно:

$$N_{Acc} = N_{Work} \frac{P_{Acc}}{1 - P_{Acc}}.$$

Перепишем в формуле для заданного периода времени:

$$T = N_{Work} \frac{P_{Acc}}{1 - P_{Acc}} \bar{T}_{Rep} + T_{Storm} + \frac{N_{Work}}{N_{TripDay}} + T_{Maint}.$$

Следовательно, формула для определения N_{Work} :

$$N_{Work} = \frac{T - T_{Storm} - T_{Maint}}{\frac{P_{Acc}}{1 - P_{Acc}} \bar{T}_{Rep} + \frac{1}{N_{TripDay}}}.$$

Если n судов работают последовательно с интервалом t_{In} между отходами с момента времени t_{Start} до момента времени t_{Fi} , то $N_{TripDay}$ не больше максимального количества рейсов в день N_{TrDMax} :

$$N_{TrDMax} = n \text{Trunc} \left(\frac{t_{Fi} - t_{Start} - (n-1)t_{in}}{\bar{t}_{Trip}} \right),$$

где функция $\text{Trunc}(x)$ определяет целую часть числа x ; \bar{t}_{Trip} – предполагаемая продолжительность рейсов определяется по зависимости:

$$\bar{t}_{Trip} = \frac{2R_{Trip}}{\bar{v}} + \max \left(\frac{4\bar{N}_{Pax}}{A_{Pax}}, \frac{4\bar{N}_{Car}}{A_{Car}} \right) + t_{Mane},$$

где \bar{v} – предполагаемая скорость рейса; \bar{N}_{Pax} – среднее количество пассажиров на судне; \bar{N}_{Car} – среднее количество автомобилей на судне; A_{Pax} – норма посадки и высадки пассажиров, чел./час.; A_{Car} – норма погрузки и выгрузки автомобилей, авт./час.

Если n судов работают встречными рейсами, при этом n_1 судов на прямом направлении и n_2 судов на обратном направлении ($n=n_1+n_2$), то N_{TrDMax} определяется по выражению:

$$N_{TrDMax} = n_1 \text{Trunc} \left(\frac{t_{Fi} - t_{Start} - (n_1-1)t_{in}}{\bar{t}_{Trip}} \right) + n_2 \text{Trunc} \left(\frac{t_{Fi} - t_{Start} - (n_2-1)t_{in}}{\bar{t}_{Trip}} \right).$$

Количество пассажиров и автомобилей в каждом рейсе являются случайными величинами, с законами распределения, полученными на основании статистических данных.

Эксплуатационные расходы C_{Oper} определяется по формуле:

$$C_{Oper} = C_{Var} + C_{Fix},$$

где C_{Var} – переменные эксплуатационные расходы; C_{Fix} – постоянные эксплуатационные расходы.

Переменные эксплуатационные расходы рассчитываются по зависимости:

$$C_{Var} = C_{Inport} + C_{Fuel} + C_{Oil},$$

где C_{Inport} – расходы в порту; C_{Fuel} – расходы на топливо; C_{Oil} – расходы на смазочное масло.

Расходы в порту зависят от габаритных размерений судна и ставки портовых сборов конкретного порта:

$$C_{Inport} = p_{Inport} LBH,$$

где p_{Inport} – ставка портовых сборов, \$/м³; L, B, H – соответственно габаритная длина, ширина и высота борта катамарана, м.

Расходы на топливо:

$$C_{Fuel} = c_{Fuel} m_{Fuel} N_{Work},$$

где m_{Fuel} – количество израсходованного топлива за один рейс, т.; c_{Fuel} – стоимость одной тонны топлива, \$/т.

Расходы на смазочное масло:

$$C_{Oil} = c_{Oil} m_{Oil} N_{Work},$$

где $m_{Oil} = 0,05m_{Fuel}$ – количество смазочного масла за один рейс, т.; c_{Oil} – стоимость одной тонны смазочного масла, \$/т.

Постоянные эксплуатационные расходы рассчитываются по формуле:

$$C_{Fix} = C_{Crew} + C_{Rep} + C_{Insur} + C_{Amor} + C_{Adm},$$

где C_{Crew} – расходы на содержание экипажа; C_{Rep} – 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 т.д.

$$C_{Crew} = c_{Crew} N_{Crew} T_{Crew},$$

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:

$$C_{Rep} = k_{Rep} C_{Build}; C_{Insur} = k_{Insur} C_{Build};$$

$$C_{Amor} = k_{Amor} C_{Build}; C_{Adm} = k_{Adm} C_{Build},$$

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.

Строительная стоимость автопассажирских катамаранов рассчитывается по формуле:

$$C_{Build} = C_{Mat} + C_{Out} + C_{Mach} + C_{Work},$$

где C_{Mat} , C_{Out} , C_{Mach} , C_{Work} – соответственно стоимость металлического корпуса, оборудования, механизмов судна, и выполнения работ по строительству. C_{Mat} , C_{Out} , C_{Mach} определяются в зависимости от массы и удельной стоимости соответствующего раздела.

Стоимость работ оценивается через трудоемкости изготовления (монтажа) основных разделов нагрузки масс судна

$$C_{Work} = L_i H_i,$$

где L_i – трудоемкость изготовления (монтажа) i -того раздела, час.; H_i – стоимость одного нормо-часа, \$/нормо-час. Формулы для определения L_i представлены в [2].

Предложенная методика была реализована в среде программирования Delphi 7. В качестве примера демонстрирующего возможности программы рассмотрена задача определения экономических показателей

автопассажирского катамарана, работающего между двумя вьетнамскими портами: «Хайфонг-Донгхой». Исходные данные для программы показаны на рис.2.

Экономические данные принимаются соответственно указанному периоду моделирования. При расчете капитальных вложений в постройку судна предполагается, что собственные денежные средства заказчика составили 20 %, а остальные 80 % инвестиций – это банковский кредит, взятый на восемь лет под процентную ставку – 6 – 10 % в год. Стоимость пассажирского билета – 65 – 70 \$/чел., провоза автомобиля – 100 – 110 \$/авт.

После процесса моделирования получились следующие результаты: провозоспособность – 53941 чел. и 11541 автомобилей; количество выполненных рейсов – 84; количество отмененных рейсов – 8; средняя скорость – 38,4 уз.; эксплуатационные расходы – 3,91 млн. \$; доход – 4,81 млн. \$; средняя продолжительность поездки – 7,9 час.

Выводы и перспективы дальнейшего исследования

В статье были представлены модель функционирования и методика расчета определения экономических показателей автопассажирских катамаранов с учетом рисков от слеминга, столкновения и посадки судна на мель.

Перспективой дальнейшего исследования может быть добавление источников риска для более точной оценки целевой функции в задаче оптимизации.

Field	Value
Район плавания	Южно-китайское море
Пассажирский поток в сутки	>>
Автомобильный поток в сутки	>>
Количество судов	1
Начальная дата имитации	01.06.2014
Конечная дата имитации	01.09.2014
Количество рабочих дней	92
Мореходность, баллы	4
Пункт отправления	Хайфонг
Пункт назначения	ДонгХой
Расстояние, миль	300
Планирующая скорость, уз.	37.0
Планирующая длительность рейса	08:06
Начальное время работы	08:30
Конечное время работы	23:59
Минимальное время стоянки	02:00
Интервал между двумя послед. судами	03:00
Возможное количество рейсов судов(судна) в сутки	1
Плотность работы	Ежедневно
Расписание работы	По определенным дням

Рис. 2. Исходные данные для определения экономических показателей

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко А.П. Моделирование элементов рейса пассажирского судна с малой площадью ватерлинии / А.П. Бойко, А.В. Бондаренко // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одесса: ОНМУ, 2010. – № 31.– С. 160–169.
2. Буй Д.Т. Способы определения стоимости скоростных автопассажирских катамаранов на этапе концептуального проектирования/ Д.Т.Буй// Сборник научных трудов SWorld: Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2013. – Одесса: Куприенко, – С.49–53.
3. Сборник нормативно-методических материалов. Книга девятнадцатая / СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2009. – 93 с.
4. Соломенцев, О.И. Определение эффективного вертикального клиренса для катамарана / О.И. Соломенцев // Труды НКИ: Автоматизированное проектирование и конструкция судов, 1986. – С. 37–48.
5. Соломенцев О.И. Расчет динамического подъема воды при продольной качке одно- и двухкорпусных судов / О.И. Соломенцев // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 1998. – № 12 (360). – С. 17–28.
6. Соломенцев О.И. Учет требований к мореходности при проектировании морских катамаранов / О.И. Соломенцев // Судостроение, 1988. – № 4. – С. 10–14.
7. Холодилин, А.Н. Мореходность и стабилизация судов на волнении: Справочник / А.Н. Холодилин, А.Н. Шмырев. – Л.: Судостроение, 1976. – 328 с.
8. Moraes, H.V. Multiplecriteriaoptimizationapplied to high speed catamaran preliminarydesign/H.V.Moraes, J.M.Vasconcellos, P.M.Almeida // Ocean Engineering. – 2007. – Vol.34, N 1. – P. 133–147.
9. SOLAS. Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988: articles, annexes and certificates /Consolidated Edition. – 2010. – 83 p.