



УДК 629.12

Кочнев Юрий Александрович, к.т.н., доцент кафедры проектирования и технологии постройки судов ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Кинжабаева Ангелина Ринатовна, магистрант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМОБИЛЬНО – ПАССАЖИРСКОГО ПАРОМА ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

Ключевые слова: автомобильно-пассажирский паром, математическая модель, катамаран, архитектурно-конструктивный тип судна.

Аннотация. В статье приведен анализ архитектурно-конструктивного типа (АКТ) и главных размерений паромов внутреннего плавания. На его основе выделены группы паромов с различным типом АКТ, приведены особенности математической модели для обоснования главных элементов рассматриваемого типа судов.

Паром – это плавательное средство, используемое для перевозки пассажиров и транспортных средств между двумя берегами водной преграды [1].

В настоящее время в Российской Федерации паромы используются для перевозки пассажиров, велосипедистов, а также для перевозки автомобилей на таких линиях, как Нижний Новгород – Бор, Лысково – Макарий, Кавказ – Варна, Кавказ – Потти и др.

На внутренних водных путях применяются паромы проектов 1781, 314 и т.д., основные элементы которых приведены в таблице 1.

Анализируя многообразие архитектурно-конструктивных типов (АКТ) речных паромов (таблица 1), можно выделить, что они подразделяются: на суда с кормовой надстройкой, с П-образной надстройкой в средней части корпуса, несамоходные паромы и многокорпусные суда (катамараны).

Для паромов с кормовым расположением надстройки, условно обозначим их «АКТ 1», например, проект 1781 (рисунок 1) характерно длина судна от 60,3 до 65,8 м.; ширина судна от 12 до 16 м., осадка в реке 0,8... 2,0 м.; коэффициент общей полноты свыше 0,75, высота борта от 2,6 м до 9,0 м.; скорость хода от 12 до 16 км/ч. Для подобных судов характерным является устройство аппарели по бортам судна.

Для паромов с П-образной надстройкой в средней части (АКТ 2) (рисунок 2) характерны следующие параметры: длина судна - от 40,5 до 59,4 м.; ширина судна - от 12 до 13,8 м., осадка в реке 1,7... 2,36 м.; коэффициент общей полноты - свыше 0,77, высота борта - от 3,3 м до 3,6 м.; скорость хода - от 18 до 24 км/ч. Для подобных судов характерным является то, что гребные винты и рули расположены в носу и корме, кормовое и носовое расположение аппарели, с приподнятой рулевой рубкой, пассажиры располагаются в корпусе.

Элементы и характеристики паромов внутреннего плавания

№ п.п.	№ проекта	Класс РРР	Главные размеры, м				Число и мощность ГД, кВт	Водонемещение, т	Пассажиро-вместимость, чел	Количество автомобилей	Особенности АКТ
			L	B	H	T					
1	1781	О	65,7	13,2	2,8	1,55	2x110	695	30	16 (130Т)	Кормовое расположение надстройки и МО
2	314	О	60,3	12,0	2,6	1,5	2x110	880	72		Кормовое расположение надстройки и МО
3	2967	О (лед)	40,5	12,2	3,3	1,7	2x220	373	100	8 грузовые 16 легковых	Двухъярусной П-образной (для проезда колесной техники) надстройкой в средней части длины, и кормовым расположением машинного отделения.
4	P144	О (лед)	48,0	12,3	3,4	1,8	2x287	663	85	13	Расположение надстройки в средней части корпуса
5	603/ 603А	О	31	9	3,3	1,78	2x110	278	85	8	Самоходный паром- теплоход открытого типа, с двухъярусной надстройкой по бортам, с аппаратами в носовой и кормовой частях.
6	736/ 736А	О	59,4	13,8	3,6	2,36	662	977	140	20 (170т)	Приподнятая рулевая рубка в средней части, гребные винты и рули в носу и корме
7	1731	М	50,7	11,3	6,2	4,57	3x736	1297	300	18	Катамаран, с расположением надстройки в средней части корпуса.
8	1552	О	40,3	9,0	-	0,4	-	-	-	-	Несамостоятельный пассажирский паром, с надстройкой в средней части.

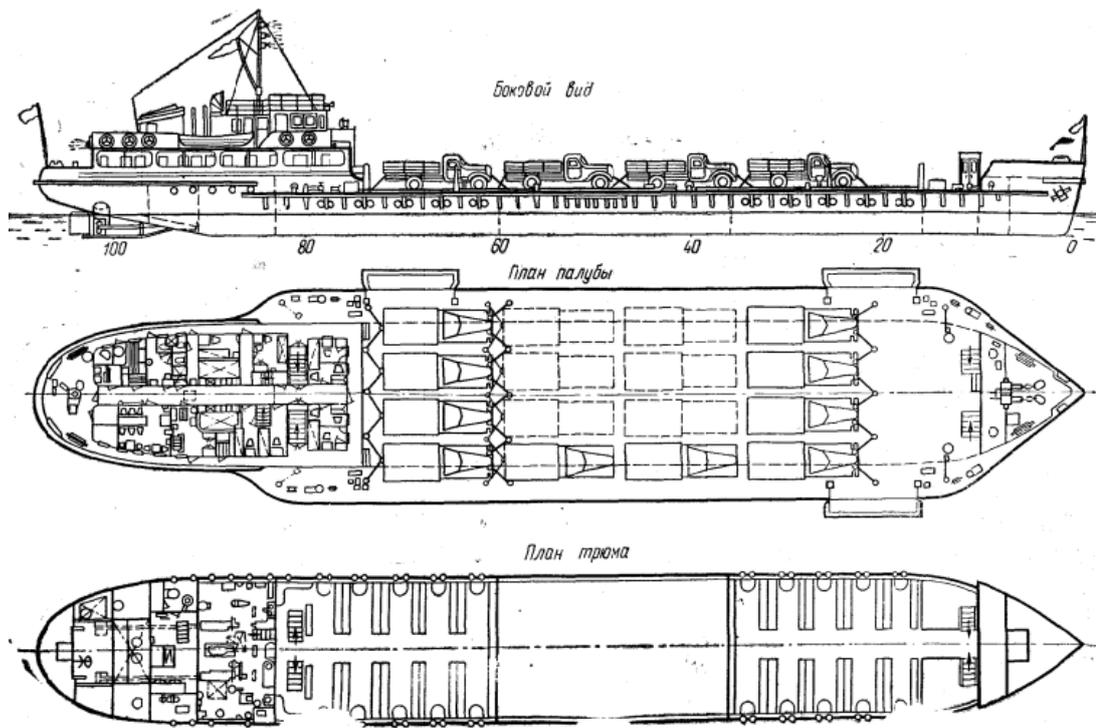


Рисунок 1 Паром проекта 1781 с кормовым расположением надстройки

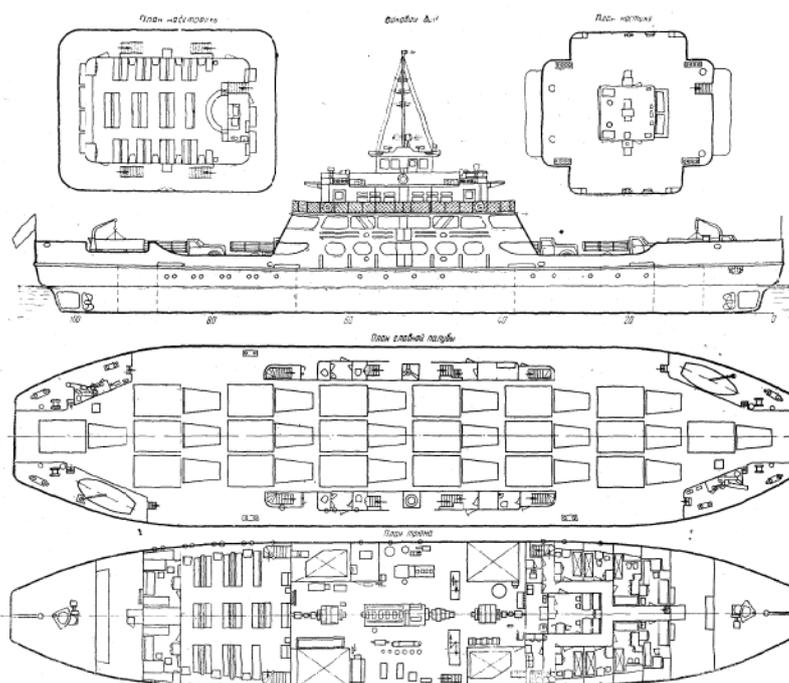


Рисунок 2 Паром проекта 736/736А с расположением надстройки в средней части.

Для несамоходных паромов (АКТ 3) с надстройкой в средней части (см. рисунок 3) характерно длина судна от 40,5 до 59,4 м.; ширина судна от 12 до 13,8 м., осадка в реке 1,7... 2,36 м.; коэффициент общей полноты свыше 0,77, высота борта от 3,3 м до 3,6 м.; скорость хода от 18 до 24 км/ч. Данный паром предназначен для перевозки пассажиров на главной палубе.

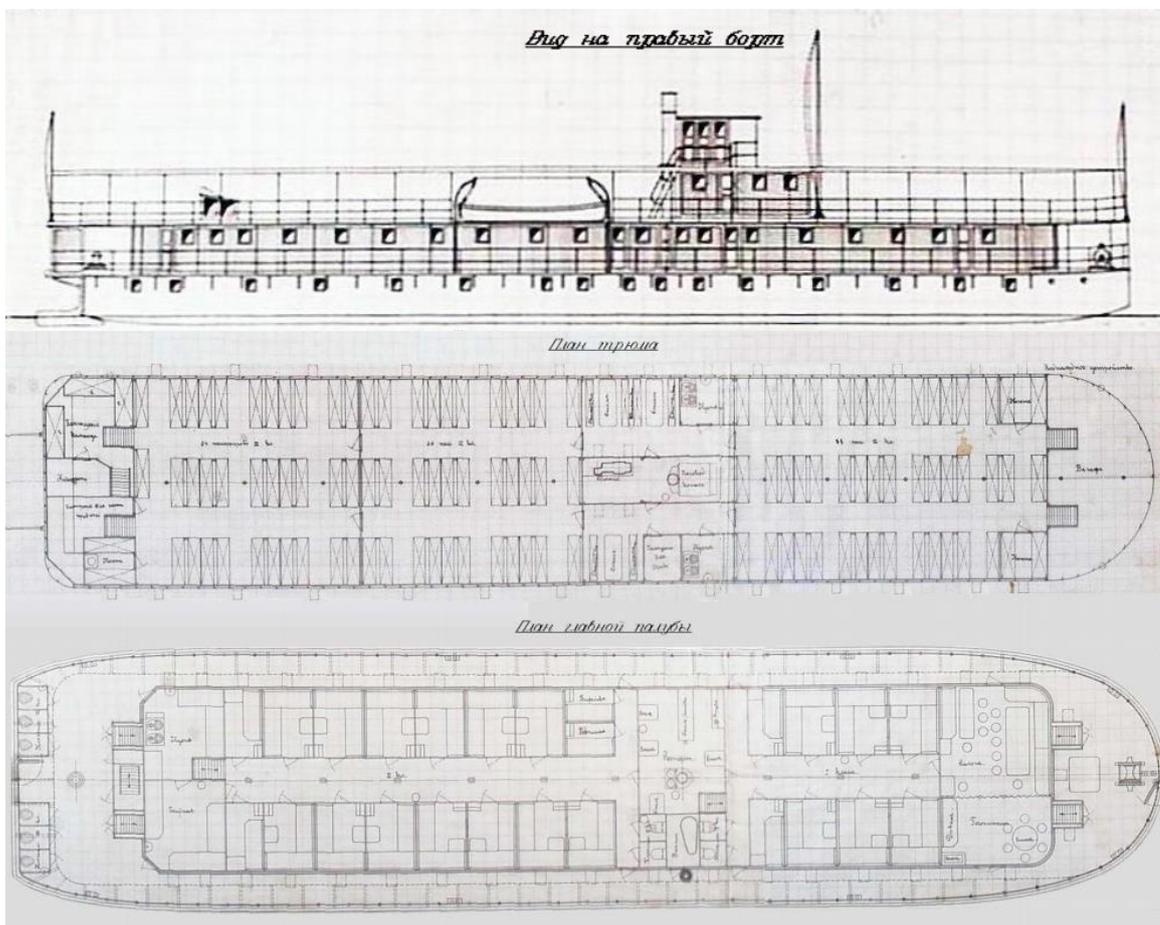


Рисунок 3 Паром проекта 1552 с кормовым расположением надстройки

Для катамарана с надстройкой в средней части (АКТ 4) (см. рисунок 4) характерно длина судна от 50,7 м.; ширина судна от 11,3 м., осадка в реке от 4,0 м.; коэффициент общей полноты свыше 0,77, высота борта от 6,2 м.; скорость хода от 26,3 км/ч. Для подобных судов характерным является два корпуса, пассажиры располагаются в надстройке, судно имеет кормовую и носовую аппарель.

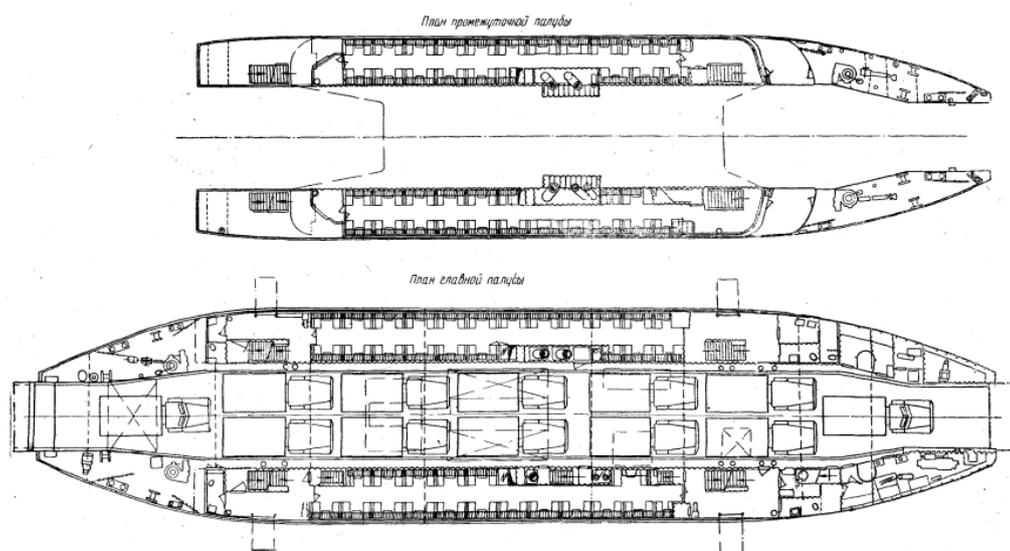


Рисунок 4 – Паром проекта 1731 с расположением надстройки в средней части корпуса.

Таким образом, можно выделить следующие признаки АКТ, нуждающиеся в обосновании на начальном этапе проектирования парома:

- 1) положение надстройки по длине судна;
- 2) соотношение главных размерений по палубе;
- 3) тип корпуса (однокорпусный или катамаран).

Для обоснования выбранных параметров разработана математическая модель их определения

Водоизмещение судна в первом приближении может быть найдено по известной формуле через коэффициент утилизации:

$$D = \frac{D_{w_o}}{\eta_{Dw}}, \quad (1)$$

где D_{w_o} – дедвейт парома;

η_{Dw} – коэффициент утилизации водоизмещения по дедвейту,

Длина и ширина судна находятся из условия размещения требуемого количества автомобилей на палубе, оборудования и надстройки

$$L = nLl_a + l_1(n_1 - 1) + l_{\phi} + l_a + l_{над} \quad (2)$$

$$B = n_B b_a + b_1(n_B - 1) + 2b_{пот} + b_{надст} \quad (3)$$

где n_1 – кол-во автомобилей по дине судна; l_a – длина автомобиля; l_{ϕ} – длина форпика; l_a – длина ахтерпика; $l_{над}$ – длина надстройки, для судов типа АКТ 1 отличная от нулевого значения, а для остальных типов равная нулю; n_B – кол-во автомобилей по ширине; b_a – ширина автомобиля, $b_{пот}$ – ширина потопчины; $b_{настр}$ – ширина надстройки, для судов с типом АКТ 1 равная нулю.

Осадка для однокорпусного судна может быть найдена по формуле

$$T = \frac{D}{\delta LB} \quad (4)$$

а для для двукорпусного судна

$$T = \frac{D}{2LB_k} \quad (5)$$

где $B_k = \frac{B}{2(1-c)}$ – ширина одного корпуса катамарана

$c = 0,42-0,69$ – относительный клиренс пассажирского катамарана.

Мощность ГД

$$Ne = \frac{1.15 Rv}{\eta_{пр}} \quad (6)$$

где v – скорость хода; $\eta_{пр}$ – пропульсивный КПД; R – сопротивление воды движению судна, равное

$$R = 0.5((\zeta_{тр} + \zeta_{шер} + \zeta_{ост} + \zeta_{вч} + \zeta_{вол} + \zeta_{воз})\rho S v^2) \quad (7)$$

$\zeta_{тр}$ – коэффициент сопротивления трения эквивалентной пластины

$\zeta_{шер}$ – коэффициент надбавки на шероховатость смоченной поверхности судна

$\zeta_{ост}$ – коэффициент остаточного сопротивления, полученный путем корректировки коэффициента судна прототипа.

$\zeta_{вч}$ – коэффициент сопротивления вступающих частей корпуса

$\zeta_{вол}$ – коэффициент сопротивления движению судна ветровой волны

$\zeta_{воз}$ – коэффициент воздушного сопротивления

ρ – плотность воды, т/м^3

S - площадь смоченной поверхности, м²

Особое внимание необходимо уделить $\zeta_{ост}$, как наиболее сложном для определения коэффициент, и зависящее не только от формы корпуса, но и от его типа.

- для однокорпусного судна:

$$\zeta_{ост} = \zeta_{ост} \cdot \frac{K_l}{K_l^I} \cdot \frac{K_{B/T}}{K_{B/T}^I} \cdot \frac{K_\varphi}{K_\varphi^I} \quad (8)$$

$K_l, K_{B/T}, K_\varphi$ - коэффициенты, учитывающие влияние форм корпуса на остаточное сопротивление, определяемые по графикам

- для двукорпусного:

$$\zeta_{ост} = 2k_n R_0 \quad (9)$$

где k_n - коэффициент, учитывающий гидромеханическое взаимодействие между корпусами;

R_0 - остаточное сопротивление одного корпуса катамарана (при наличии клиренса, равным бесконечности), определяемое по формуле

$$R_0 = D_0 r_0 = \gamma V r_0,$$

где D_0 - весовое водоизмещение одного корпуса катамарана.

Водоизмещение парама во втором приближении, после определения главных размерений

$$D_1 = P_k + P_m + P_{тс} + \Delta D w^0 + \Delta D \quad (10)$$

где $P_k = \Psi_k L B H$ - масса корпуса

$D w_0$ - дедвейт парама;

$P_m = \bar{p} N_c$ - масса механизмов;

$P_{тс} = q N$ - масса топлива и смазки.

Полученные главные размерения и водоизмещение парама должны удовлетворять ограничениям

- начальной остойчивости

$$h = r_0 + z_c - z_g > 0,1 \text{ м} \quad (11)$$

где r - малый метацентрический радиус, м;

z_c - аппликата центра величины судна, м.

z_g - аппликата центра тяжести

- габаритов судового хода

$$L \leq L', B \leq B', T \leq T';$$

Поскольку паром, достаточно часто работает на социально - значимых линиях, использовать в качестве критерия эффективности целесообразно не прибыль от его работы, а приведённые затраты:

$$Z = E_{норм} C_n + C_{экспл} \quad (13)$$

где $C_n, C_{п}$ - капитальные вложения; $E_{норм}$ - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; $C_{экспл}$ - эксплуатационные (текущие) затраты.

Для реализации предложенной математической модели и решения задач выбора АКТ парама необходимо дополнительно решить следующие задачи:

- определить удельный показатель масс корпуса, механизмов, при различных АКТ парама.

- разработать алгоритм расчета главных размерений парама.

- привести систематические расчеты при варьировании типом АКТ, расположением автомашин на палубе, положение надстройки по длине и выбрать наилучший вариант судна.

Список литературы:

- [1] Морской энциклопедический справочник/ Под ред. Н.Н.Исанина.- Л.: Судостроение, 1986.-Т.2.-С.56.-520с.;
- [2] Алферьев М.Я., Мадорский Г.С. Транспортные катамараны внутреннего плавания: Изд-во «Транспорт», 1976, -336с.

MATHEMATICAL MODEL OF CAR – PASSENGER FERRY INLAND NAVIGATION.

Key words: automobile and passenger ferry, mathematical model, catamaran, architectural and constructive type of vessel.

The article presents an analysis of the architectural design type and the main dimensions of inland ferries. On its basis, groups of ferries with different types of ACT are identified, the features of the mathematical model for the justification of the main elements of the type of vessels under consideration are given.