

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Використання екстраполяції при діагностиці залізобетонних конструкцій методом натурних випробувань /Савицький М.В., Титюк А.О., Савицький О.М., Шевченко Т.Ю.// Сб. научн. трудов. Вып. №56 Днепропетровск ПГАСА, 2010.-с.450-457.
2. Методика обстеження та оцінки технічного стану залізобетонних конструкцій відповідальних об'єктів./Савицький М.В., Шевченко Т.Ю., Титюк А.О., Савицький О.М./ Вісник №662. Нац. універ. «Львівська політехніка» 2010р.с.320-322.

УДК 728:69.034.2

РАСЧЕТ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА ВОДЕ КАК МАЛЫХ СУДОВ

д.т.н. Савицкий Н.В., асп. Шехоркина С.Е.

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Актуальность проблематики и постановка задачи. В условиях ограничения земель под застройку, в таких странах как Голландия, Италия, Англия, Франция, США и др., широкое распространение получил такой тип жилья, как дома на воде (рис. 1).

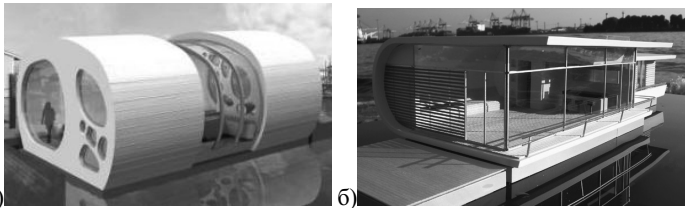


Рис. 1. Проекты домов на воде: а) «Tafoni» (J. Borek-Clement, США) [1]; б) «С-Туре» (компания FloatingHomes, Германия) [2]

Поскольку на территории нашей страны расположены большие внутренние акватории (морские побережья, реки, озёра и т.п.), а также в связи возрастающей стоимостью земельных участков, отрасль строительства на воде в настоящее время набирает популярность и является перспективной. Однако в Украине фактически отсутствует нормативная документация по проектированию зданий на воде.

Цель настоящих исследований - разработка методики расчета малоэтажных жилых зданий на воде в соответствии с требованиями Регистра судоходства Украины.

Изложение основного материала. С точки зрения судостроения здание на воде является несамходным судном, общая устойчивость которого на поверхности водоема обеспечивается при соблюдении условий плавучести, устойчивости и непотопляемости. Если длина здания не превышает 24 м и предполагается одновременное нахождение в доме не более 12 человек, данные характеристики определяются в соответствии с требованиями «Правил классификации и постройки малых судов» [4].

Расчет здания на воде рассмотрен на примере проекта двухэтажного жилого дома (рис. 2).

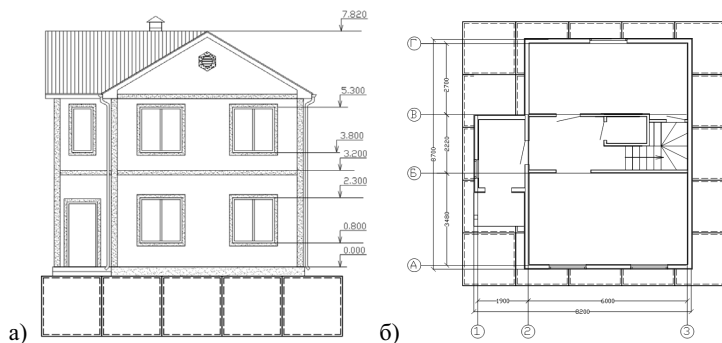


Рис. 2. Проект двухэтажного жилого дома на воде: а) фасад в осях «1» - «2»; б) план первого этажа.

Основное условие плавучести – масса сооружения должна быть равной массе вытесненной воды:

$$G = V \cdot \gamma, \quad (1)$$

где G – масса здания на воде; V – объем погруженной в воду части корпуса; γ – плотность воды (для пресной воды $\gamma=1,00\text{т/м}^3$).

Масса здания на воде в состоянии полной нагрузки составляет $G = 122\delta$ и состоит из:

- массы плавучей платформы из железобетонных понтонов-модулей;
- массы стеновых панелей, состоящих из деревянного каркаса, обшивки из гипсокартона и OSB, а также минераловатного утеплителя;
- массы перекрытия и покрытия, включая полезную и снеговую нагрузку в соответствии с [5]; массы технологического оборудования для жизнеобеспечения (автономная электростанция, цистерны запасов воды и т.п.).

Здание должно иметь прямую посадку в равновесном положении, т.е. отсутствие какого-либо крена и дифферента. Следовательно, вторым условием равновесия является - центр тяжести и центр величины судна должны лежать на одной вертикали:

$$x_g = x_c; y_g = y_c, \quad (2)$$

где $x_g, y_g; x_c, y_c$ – соответственно, координаты центра тяжести и центра величины здания, в плоскости ватерлинии, м.

Центром величины является центр тяжести подводной части. Центр тяжести - точка приложения равнодействующей сил тяжести, действующих на судно. Основные параметры здания на воде приведены на рис.3.

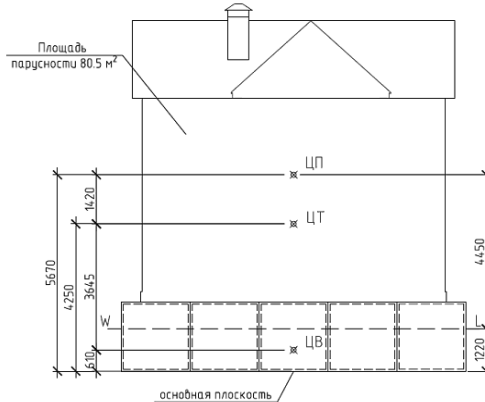


Рис. 3. Основные геометрические параметры здания на воде в состоянии полной нагрузки: WL – положение ватерлинии; $ЦП$ – центр парусности; $ЦТ$ – центр тяжести здания; $ЦВ$ – центр величины (центр тяжести подводной части)

Объем погруженной в воду части корпуса определяем по формуле:

$$V = b \cdot l \cdot h, \quad (3)$$

где b, l – длина и ширина плавучей платформы; h – глубина погружения (осадка) здания.

Подставляя (3) в (2) определяем расчетную осадку здания на воде:

$$h = \frac{G}{b \cdot l \cdot \gamma} = \frac{121.77 \delta}{10i \cdot 10i \cdot 1 \frac{\delta}{i^3}} = 1.22i.$$

Непотопляемость здания на воде обеспечивается запасом плавучести, который определяется минимально допустимой высотой надводного борта:

$$F = H - h \geq F_{\min} = 0.4i, \quad (4)$$

где H – высота плавучей платформы, F – высота надводного борта, F_{\min} –

минимально допустимая высота надводного борта.

$$F = H - h = 2i - 1.22i = 0.78i \geq 0.4i \rightarrow \text{условие выполняется.}$$

Остойчивостью называется способность судна, выведенного из положения равновесия под действием какого-либо кренящего момента, возвращаться в исходное положение при прекращении действия этого момента [3]. Остойчивость плавучего жилого дома проверяется по критерию ветростойкости [4] оценивающему остойчивость судов всех типов, эксплуатация которых предусмотрена в прибрежном районе.

Критерий ветростойкости характеризуется сопоставлением имеемых потенциальных возможностей судна с возможным внешним воздействием ветра, выраженным через соотношение моментов:

$$\frac{M_{\text{дот}}}{i \cdot \delta \delta i} \geq K_w = \frac{LH}{\sqrt{V}} = \frac{10}{\sqrt{122}} = 0.9, \quad (5)$$

где $M_{\text{дот}}$ - предельно допустимый момент, определяемый согласно п. 2.3.3 [4]; $M_{\text{крен}} = M_w$ - кренящий момент от воздействия ветровой нагрузки, определяемый согласно п. 2.2.1 [4].

Кренящий момент от давления ветра на надводную часть судна определяется как:

$$M_w = A_{LV} \cdot (z_{\text{ЦП}} + a_1 \cdot a_2 \cdot d_A) \cdot p_w, \quad (6)$$

где A_{LV} - площадь парусности судна (80,5 м²); $z_{\text{ЦП}}$ - возвышение центра парусности над плоскостью ватерлинии (4,45 м); d_A - усредненная осадка площади погруженной части судна (1,22 м); a_1 - коэффициент, учитывающий влияние сил сопротивления воды боковому дрейфу судна на плечо кренящей пары, принимаемый по табл. 2.2.1-1 в зависимости от отношения B_H/d_A (10м/1,22м=8,2 → $a_1=1,22$); a_2 - коэффициент, учитывающий влияние сил инерции на плечо кренящей пары, следует определять по табл. 2.2.1-2 в зависимости от отношения z_g/B_H (z_g - возвышение центра массы над основной плоскостью судна, м); p_w - расчетное давление ветра, Па.

Для всех типов судов расчетное давление ветра p_w определяется по формуле:

$$p_w = W_{CT} + W_{\text{дм}} \quad , \quad (7)$$

где W_{CT} и $W_{\text{дм}}$ - статическая и динамическая составляющие ветровой нагрузки, определяемые согласно п. 4.2.4 «Общих положений» [4].

Статическая составляющая ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$W_{CT} = 0.61 \cdot k \cdot v_0^2 = 0.61 \cdot 0.75 \cdot 31^2 = 439.66 \text{ Па}, \quad (8)$$

где v_0 - скорость ветра на уровне 10 метров над водной поверхностью, принимаемая как среднее значение диапазона скорости ветра, указанного в табл. 4.2.4 [4] (в расчетах принята скорость ветра, характерная для жестокого шторма); k - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, и принимаемый равным 0,75.

Динамическая составляющая ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$W_{\dot{A}i} = 0.5 \cdot W_{CT} \cdot \zeta \cdot \eta = 0.5 \cdot 439.66 \cdot 0.85 \cdot 0.842 = 157.33 \text{ Па}, \quad (9)$$

где ζ - коэффициент пульсаций ветрового давления, принимаемый равным 0,85; η - коэффициент корреляции пульсаций ветрового давления, принимаемый согласно данных табл. 4.2.4.2-1 [4].

Тогда значение ветрового давления составит:

$$p_w = W_{CT} + W_{\dot{A}i} = 439.66 + 157.33 = 597 \text{ Па}.$$

Таким образом, величина кренящего момента от воздействия ветра:

$$M_w = 80.5i^2 \cdot (4.45i + 1.22 \cdot 0.05 \cdot 1.22i) \cdot 597 \frac{i}{i^2} = 217.4 \dot{e}i \cdot i .$$

Предельно допустимый кренящий момент $M_{дон}$ определяется по диаграмме статической остойчивости, с учетом предельно допустимого угла крена θ_f :

$$M_{\dot{A}i} = V \cdot l_{max}, \quad (10)$$

где l_{max} - максимальное плечо статической остойчивости, измеренное при максимуме диаграммы статической остойчивости либо при максимально допустимом угле крена.

Принимаем предельно максимально допустимый угол крена – угол заливания, который составляет $\theta_D = 9^\circ$.

Диаграмма статической остойчивости представляет собой график изменения плеча статической остойчивости в зависимости от угла крена судна.

Плечи статической остойчивости для различных углов крена определяются по формуле [3]:

$$l_\theta = y_c \cdot \cos \theta + (z_C - z_{C_0}) \cdot \sin \theta - a_0 \cdot \sin \theta, \quad (11)$$

где y_c – ордината центра величины в накренном положении; z_C и z_{C_0} – аппликаты центров величин в накренном положении и первоначальная, соответственно; a_0 – расстояние между центром тяжести и центром величины судна.

Координаты центра тяжести и центров величины для каждого значения угла крена плавучего здания определялись графически в ПК AutoCAD2008.

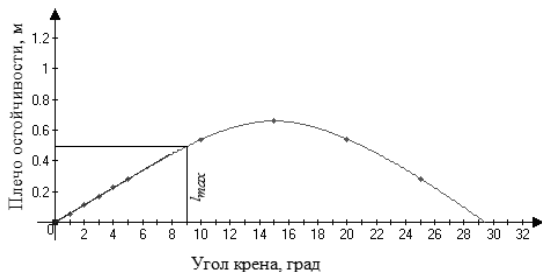


Рис. 4. Диаграмма статической остойчивости дома на воде при полной нагрузке

Тогда допустимый кренящий момент будет равен:

$$M_{\ddot{a}i\ddot{i}} = \Delta \cdot l_{\max} = 1220 \text{ t} \cdot 0.588 \text{ m} = 717.36 \text{ t} \cdot \text{m} .$$

Проверка критерия остойчивости:

$$\frac{M_{\ddot{a}i\ddot{i}}}{\dot{i} \cdot \dot{\epsilon} \dot{\delta} \dot{a} \dot{i}} = \frac{717.36}{217.44} = 3.3 \geq K_w = \frac{L_H}{\sqrt{V_D}} = \frac{10}{\sqrt{122}} = 0.9 .$$

Таким образом, условие остойчивости выполняется.

В соответствии с [4] для непарусных судов начальная поперечная метацентрическая высота h_0 в состоянии с полной нагрузкой при наиболее неблагоприятном для остойчивости размещении людей должна быть не меньше величины $h_{0(R)}$, определяемой как:

$$h_{0(R)} = \frac{M_c}{\Delta \cdot g \cdot \sin \theta_{0(R)}} , \quad (12)$$

где M_c - кренящий момент из-за смещения людей к борту; $\theta_{0(R)}$ - допускаемый угол крена судна при смещении людей к одному борту, градус, определяемый согласно 2.5.4; G - масса судна в соответствующем состоянии нагрузки; g - ускорение свободного падения ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$).

Кренящий момент от скопления пассажиров у одного борта рассчитывается по формуле, представленной в [4]:

$$M_P = g \cdot P \cdot y , \quad (13)$$

где P - общая масса максимально разрешенного числа людей на борту, при средней массе одного человека принятой 75 кг; y - поперечное отстояние центра тяжести общей массы людей от центра тяжести здания.

Тогда кренящий момент от скопления людей на борту:

$$M_P = g \cdot P \cdot y = 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 75 \text{ t} \cdot 12 \text{ м} \cdot 5 \text{ м} = 44.15 \text{ t} \cdot \text{м} .$$

Допускаемый угол крена судна $\theta_{0(R)}$ при смещении людей к одному борту определяем по формуле п. 2.5.4 [4]:

$$\theta_{0(R)} = 10 + \frac{(24-l)^3}{600} = 10 + \frac{(24-10)^3}{600} = 14.57^\circ, \quad (14)$$

Проверяем величину начальной метацентрической высоты здания на воде при полной нагрузке:

$$h_0 = 3.24i > h_{0(R)} = \frac{44.15\hat{e}\hat{l} \cdot i}{122000\hat{e}\hat{a} \cdot 9.81i / \hat{n}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 14.57} = 0.15i .$$

Проверяем величину угла статического крена при скоплении пассажиров на одном борту при полной нагрузке, подставляя в (12) фактические значения начальной метацентрической высоты, водоизмещения и кренящего момента от скопления людей на борту:

$$\sin \theta_0 = \frac{M_C}{G \cdot g \cdot h_0} = \frac{44.15\hat{e}\hat{l} \cdot i}{122000\hat{e}\hat{a} \cdot 9.81 \frac{i}{\hat{n}^2} \cdot 10^{-3} \cdot 3.24i} = 0.0114 < \sin \theta_{\hat{a}\hat{i}\hat{i}} = 0.156$$

Выводы. На основе анализа норм проектирования малых судов разработана методологи расчета малоэтажных зданий на воде. В результате расчета параметров плавучести, непотопляемости и остойчивости на примере проекта двухэтажного жилого коттеджа установлено, что здание удовлетворяет требованиям правил «Регистра судоходства Украины» и пригодно для строительства в прибрежных зонах водоемов на территории Украины.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Tafoni Floating Home [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.joannaborek.com/Tafoni_Floating_Home.pdf. – Название с экрана.
2. Floating Homes C-Type [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.floatinghomes.de/seite_11_c_type.html. – Название с экрана.
3. Оценка посадки, остойчивости и прочности судна в процессе эксплуатации/ А.И. Новиков: Учебное пособие – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003 – 136 с., ил.
4. Правила постройки и классификации малых судов (в 4-х томах). – К.: Регистр судоходства Украины.
5. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования: ДБН В.1.2-2:2006 - ДБН В.1.2-2:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 78 с. – (Національні стандарти України).