



*Л.С. Шевцов, А.А. Соловьева, С.А. Соловьев*  
*Вологодский государственный университет*

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ АРМИРОВАННОГО АРБОЛИТА

В статье представлен вероятностный подход к проектированию изгибаемых элементов из армированного арболита (балки, перемычки, плиты и др.). Приведена аппроксимационная зависимость между прочностью арболита при сжатии и прочностью арболита при растяжении на основании данных СН 549-82. Численный пример расчета предельной нагрузки на балку из армированного арболита отражает возможность проектирования таких конструкций под заданный уровень надежности или оценки надежности партии произведенных элементов. На основе представленного алгоритма также могут быть решены задачи вероятностного проектирования с учетом случайной природы нагрузок.

Арболит, легкий бетон, вероятностное проектирование, прочность, вероятность отказа.

В соответствии со стандартом ГОСТ 19222-2019 «Арболит и изделия из него» арболит – легкий бетон на цементном вяжущем, древесной дробленке и химических добавках. Арболит является одним из видов легких бетонов, которые производятся на органическом заполнителе (щепа). Расчетное сопротивление арболита по ГОСТ 19222-2019 при сжатии составляет от 0,3 до 2,1 МПа. На основе этих характеристик арболит используется в виде различных конструктивных элементов зданий.

Как отмечается в исследовании [1], «практика жилищного и промышленного строительства в различных климатических зонах показывает постоянное увеличение потребности в строительных материалах с высокими теплоизоляционными свойствами». Конструкции из арболита позволяют повысить энергоэффективность зданий и сооружений [2], а также позволяют увеличить процент вторичного использования продуктов деревообработки.

Одним из возможных типов конструкций являются изгибаемые армированные элементы из арболита – балки, перемычки, плиты. Сохранность арматуры в теле легкого бетона на органическом заполнителе подтверждается экспериментальными исследованиями [3], где отмечается, что «хранение балочных образцов с преднапряженной арматурой в течение шести лет при влажности 63–77 % и температуре 15–25 °С показало хорошие защитные свойства поризованного арболита класса В5 и возможности сохранения требуемых свойств конструкции на весь период эксплуатации зданий».

В то же время железобетон имеет коэффициент теплопроводности  $\lambda = 1,69 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$  в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», а арболит самой высокой плотности D800 имеет коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,24 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$  в

соответствии с ГОСТ 19222-2019 «Арболит и изделия из него».

В соответствии с Инструкцией по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита СН 549-82, разработанной НИИЖБ Госстроя СССР, однослойные прямоугольные изгибаемые элементы с монтажной арматурой рассчитывают по формуле:

$$M \leq \frac{1,1 \cdot b \cdot h^2}{3,5} \cdot R_{bt}, \quad (1)$$

где  $R_{bt}$  – расчетное сопротивление арболита при осевом растяжении;  $b$  – ширина сечения элемента;  $h$  – высота сечения элемента.

Конструктивную арматуру в изгибаемом однослойном элементе учитывают путем включения в правую часть неравенства (1) дополнительного момента, характеризующего несущую способность:

$$M' = R_b \cdot b \cdot x \cdot \left( h_0 - \frac{x}{2} \right), \quad (2)$$

где  $x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b}$  – высота сжатой зоны бетона;

$A_s$  – площадь сечения растянутой арматуры;  $R_s$  – расчетное сопротивление стали арматуры класса А-II(A400) или Вр-I(B500), принимаемое не выше 180 МПа.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности арболита при сжатии от прочности арболита при растяжении по расчетным сопротивлениям СН 549-82.

Аналитически данная зависимость может быть выражена формулой:

$$R_{bt}(R_b) = 0,027 \cdot R_b^2 + 0,184 \cdot R_b + 0,042 \text{ МПа.} \quad (3)$$

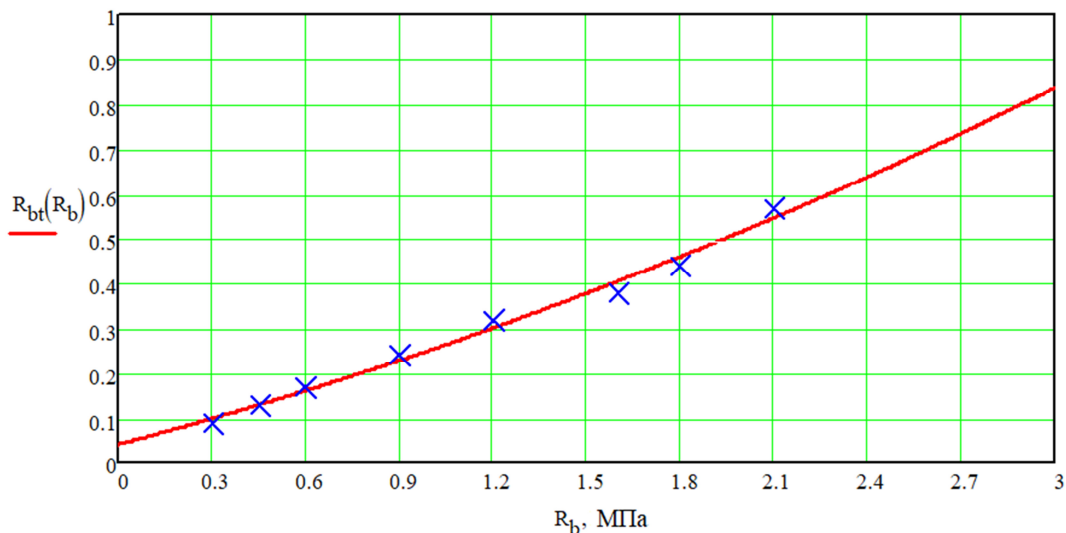


Рис. 1. Зависимость прочности арболита при сжатии от прочности арболита при растяжении



Рис. 2. Общий вид изготовленной балки из армированного арболита

С учетом вышеизложенного математическую модель предельного состояния для расчета изгибаемого элемента из арболита можно записать в виде:

$$M \leq \frac{1,1 \cdot b \cdot h^2}{3,5} \cdot [0,027 \cdot R_b^2 + 0,184 \cdot R_b + 0,042] + R_b \cdot b \cdot \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b} \cdot \left( h_0 - \frac{R_s \cdot A_s}{2 \cdot R_b \cdot b} \right), \text{ [МН} \cdot \text{м]}$$

Для случая однопролетной балки вышеуказанную зависимость можно представить в виде:

$$q \leq \frac{8,8 \cdot b \cdot h^2}{3,5 \cdot l^2} \cdot [0,027 \cdot R_b^2 + 0,184 \cdot R_b + 0,042] + R_b \cdot b \cdot \frac{8 \cdot R_s \cdot A_s}{l^2 \cdot R_b \cdot b} \cdot \left( h_0 - \frac{R_s \cdot A_s}{2 \cdot R_b \cdot b} \right)$$

где  $q$  – равномерно распределенная нагрузка на балку;  $l$  – пролет балки.

Для проведения экспериментальных исследований был выполнен опытный образец балки из армированного арболита (рис. 2).

Балка армирована 4 стержнями арматуры диаметром 8 мм. Общая площадь рабочей арматуры состав-

ляет  $A_s = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Сечение балки  $b=h=300 \text{ мм}$ . Балка изготовлена для расчетного пролета  $l=1500 \text{ мм}$ . Прочность стали арматуры принята 180 МПа по рекомендациям СН 549-82.

В связи с высоким коэффициентом вариации прочности арболита при сжатии [4, 5] для оценки уровня надежности может быть использован метод генерации статистических данных. Пусть прочность арболита описывается нормальным распределением вероятностей с параметрами  $m_R = 1,00 \text{ МПа}$ ,  $S_R = 0,20 \text{ МПа}$ , где  $m_R$  и  $S_R$  – математическое ожидание и стандартное отклонение прочности арболита при сжатии, полученное по результатам испытаний контрольных образцов партии арболита.

В программе PTC MathCAD путем генерации случайных чисел по нормальному распределению сформируем 10 000 значений прочности арболита по вышеуказанным параметрам. Формально такой подход может означать проведение численного эксперимента 10 000 балок в числовой форме.

Пусть также известна расчетная нагрузка на балку  $q = 2850 \text{ кг/м} = 2,85 \text{ кН/м}$ . Из 10 000 сгенерированных значений 395 значений предельной нагрузки меньше

указанной  $q=2850$  кг/м. Вероятность отказа можно выразить как  $(10\ 000-395)/10\ 000=0,9605$ .

На основании вышеуказанного подхода можно получить значение предельной нагрузки с некоторой обеспеченностью (уровнем надежности [6]) для конкретной партии балок из армированного арболита.

#### Литература

1. Долматов, С. Н. Исследование показателей теплопроводности древесно-цементных композитов / С. Н. Долматов, А. В. Никончук // Хвойные бореальной зоны. – 2019. – Т. 37, № 5. – С. 341–346.

2. Павлов, М. В. Анализ результатов тепловизионного обследования гражданского здания общественного назначения / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов, А. Г. Гудков // Энергосбережение и водоподготовка. – 2022. – № 2 (136). – С. 35–39.

3. Обрезкова, В. А. Исследование изгибаемых предварительно напряженных конструкций из поризованного арболита : специальность 05.23.01 «Строй-

тельные конструкции, здания и сооружения» : автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. А. Обрезкова. – Самара : СГАСУ, 2005. – 20 с.

4. Соловьева, А. А. Исследование прочностных показателей арболита при повышенной влажности / А. А. Соловьева, Л. С. Шевцов, С. А. Соловьев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2023. – № 1 (19). – С. 33–35.

5. Conservation Environments' Effect on the Compressive Strength behaviour of Wood–concrete Composites / Khelifi W. [et al.] // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 10. – P. 3572.

6. Соловьев, С. А. Вероятностный анализ надежности деревянной стойки по критерию устойчивости при центральном сжатии / С. А. Соловьев, Ю. А. Инькова, А. А. Соловьева // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, № 12. – С. 1653–1663.

*L.S. Shevtsov, A.A. Solovyova, S.A. Solovyov*  
*Vologda State University*

#### **PROBABILISTIC APPROACH IN THE DESIGN OF FLEXURAL MEMBERS MADE OF REINFORCED WOOD CEMENT CONCRETE**

The article presents a probabilistic approach to the design of flexural members made of reinforced wood cement concrete (beams, lintels, slabs, etc.). An approximation relationship between the compressive strength of wood-cement and the tensile strength of wood-cement concrete is given based on the data from CH 549-82. A numerical example of calculating the ultimate load on a reinforced wood-cement beam reflects the possibility of designing such structures for a given level of reliability or evaluating the reliability of manufactured elements. Based on the presented algorithm, probabilistic design problems can also be solved taking into account the random nature of loads.

Wood-cement concrete, lightweight concrete, probabilistic design, strength, probability of failure.