

**Тарануха Н. А., Васильев А. С.**  
**N. A. Taranukha, A. S. Vasiliev**

## **АЛГОРИТМЫ И МОДЕЛИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПОЗИТНЫХ СРЕД НА ЗАДАННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

## **ALGORITHMS AND MODELS USED IN COMPUTER-AIDED ENGINEERING OF COMPOSITE MEDIA WITH SPECIFIED CHARACTERISTICS FOR MARINE STRUCTURES**



**Тарануха Николай Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кораблестроения Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 7 (4217) 54-30-74. E-mail: taranukha@knastu.ru.

**Mr. Nikolay A. Taranukha** – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Shipbuilding, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Str.; Komsomolsk-on-Amur, 681013; + 7 (4217) 543074. E-mail: taranukha@knastu.ru.



**Васильев Алексей Сергеевич** – аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: vasil-grunt@mail.ru.

**Mr. Alexei S. Vasilyev** – PhD student, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Str.; Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: vasil-grunt@mail.ru.

**Аннотация.** В работе говорится о многообразии композитных материалов, трудностях при проектировании композитных сред на заданные характеристики. В качестве примера композитного материала для морских сооружений взят железобетон. Приведен фрагмент кода программы и блок-схема, содержащая в себе основные процедуры при проектировании производственного состава бетона. Описаны правила закладки арматуры в бетон для совместной работы бетонной и армирующей сред.

**Summary.** This paper considers the variety of composite materials and the difficulties faced during the engineering of composite media with specified characteristics. Reinforced concrete is taken as an example of a composite material for off-shore facilities. We provide a piece of computer code and a flow-chart containing all the basic procedures of engineering the composition of concrete to be used for its manufacture. We describe the rules of placing reinforcement into the concrete in order to ensure the best interaction between the concrete and the reinforcement elements of the end product.

**Ключевые слова:** композит, алгоритм, блок-схема, проектирование, физико-механические характеристики, прочность, автоматизация, армирующая среда.

**Key words:** composite, algorithm, flow-chart, engineering, physical and mechanical properties, strength, automation, reinforcing elements.

УДК 519.711.3

### **Введение**

Технология изготовления композитов и изделий из них является одним из наиболее перспективных направлений развития современной науки. Изделия из этих материалов широко применяются в строительстве, современных отраслях автомобилестроения и авиаци-



онной промышленности, при постройке морских сооружений. Композиционный материал – конструкционный (металлический или неметаллический) материал, в котором имеются усиливающие его элементы в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного материала. Примеры композиционных материалов: пластик, армированный борными, углеродными, стеклянными волокнами, жгутами или тканями на их основе; алюминий, армированный нитями стали, бериллия. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами [3]. Также существуют композиты из нестандартизированного материала [6 – 10].

В данной статье пойдет речь о процедурах и моделях при проектировании заданных характеристик железобетона – композитного материала, сочетающего в себе совместную работу бетона и стальной арматуры. Бетон является истинным композитом и состоит из гравия и песка, которые связаны между собой при помощи цементного теста, полученного из цемента и воды. При этом для усиления прочности бетона обычно добавляется металлическая арматура. Бетон великолепно ведет себя при нагрузках на сжатие, но при растяжении становится хрупким и непрочным. Предел прочности бетона при растяжении меньше предела прочности при сжатии в 10-20 раз. Растягивающие напряжения, как и усадка бетона во время отверждения, приводят к появлению трещин, в которые попадает вода. Это в свою очередь приводит к коррозии металлической арматуры, ее разрушению и существенной потере целостности бетона. Многообразие конструкций и технологий, различных классов бетона и характеристик бетонной смеси и исходных материалов диктует необходимость постоянных разработок в отношении его состава, чтобы сделать бетон более стойким к различным внешним воздействиям и нагрузкам, что позволит обеспечить его длительное функционирование.

Для решения этой задачи и получения бетона с заданными характеристиками необходимо проектировать состав бетона, то есть подбирать составные компоненты бетонной смеси и их количество. Данные исследования содержатся в трудах Л. И. Дворкина, Ю. М. Баженова, В. П. Сизова и других авторов [1; 4; 5]. Однако предварительный подбор состава сопряжен с определенными трудностями, связанными с разнообразием видов цемента, мелкого и крупного заполнителей, а также добавок для бетона.

### **Численный подход к проектированию двухсредного материала с заданными характеристиками**

Как уже было сказано, в качестве примера для проектирования заданных характеристик композитной среды был взят железобетон. Наиболее разработанными и реализуемыми на практике являются двухпараметрические задачи, когда нормируемым свойством бетона является его прочность при сжатии  $R_{сж}$ , а бетонной смеси – показатель удобоукладываемости (подвижность или жесткость) [4]. Прочность на сжатие определяет класс бетона. Классы бетона по прочности на растяжения и изгиб определяются из прочности на сжатие. По мнению Ю. М. Баженова, прочность бетона в определенный срок при твердении в нормальных условиях зависит от водоцементного отношения [1]. При решении двухпараметрических задач для тяжелых бетонов последовательно определяют значения цементно-водного отношения, расход воды с учетом требуемой подвижности или жесткости бетонной смеси, расход цемента и заполнителей. При этом используется допущение о том, что бетонная смесь складывается из абсолютных объемов всех ее составляющих.

На рис. 1 показана зависимость прочности бетона в возрасте 28 сут от отношения Ц/В и марки цемента. Графикам под цифрами 1, 2, 3 и 4 соответствуют марки цемента 300, 400, 500, 600.

Ниже приведены некоторые фрагменты процедур и функций кода программы [2], реализованной на платформе Borland Delphi 7 языка программирования Object Pascal, содержащие алгоритмы для проектирования состава тяжелого бетона.

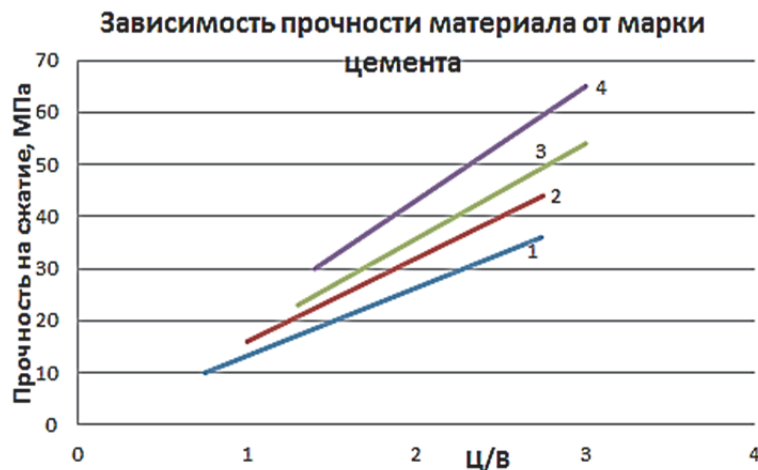


Рис. 1. Зависимость прочности бетона в возрасте 28 сут от отношения Ц/В и марки цемента

Определяется отношение В/Ц в зависимости от требуемой прочности, срока и условия твердения бетона. Для обычного бетона  $V/C > 0,4$

$$\frac{B}{C} = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_{б} + A \cdot 0,5 R_{ц}}$$

где  $R_{б}$  – требуемая прочность при сжатии;  $R_{ц}$  – активность цемента;  $A$  – коэффициент качества заполнителей.

```
function TForm1.VC(A, Rc, Rb: real): real;
begin
.....
VC:=Round(100*(A*Rc)/(Rb+0.5*A*Rc))/100;
```

Уточняется количество воды для бетонной смеси из таблиц [1].

```
function TForm1.V(NGCT, Mkr, V1: real): real;
begin
....
Mkr:=strToFloat(Edit13.Text);
V:=(NGCT-27)*4-(Mkr-2)*8+V1;
```

Находят расход цемента:

$$C = B / \frac{B}{C}$$

где  $B$  – количество воды на кубический метр смеси.

```
function TForm1.Cem(Voda, k: real): real;
begin
Cem:=Round(Voda/k);
end;
```

Определяют расход заполнителя:

$$\Pi = \frac{1000}{\alpha \frac{v_{\text{пус.щ}}}{\gamma_{\text{щ}}^{\text{H}}} + \frac{1}{\rho_{\text{щ}}}},$$

где  $\Pi$  – расход крупного заполнителя  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{щ}}$  – плотность крупного заполнителя;  $v_{\text{пус.щ}}$  – межзерновая пустотность крупного заполнителя в относительных единицах;  $\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя раствором;  $\gamma_{\text{щ}}^{\text{H}}$  – средняя насыпная плотность крупного заполнителя.

```
function TForm1.S(alfa, Psh, Ys: real): real;
```

```
begin
```

```
.....
```

```
S:=round((1000/(alfa*(1-Ys/Psh)/Ys+1/Psh))*10)/10;
```

```
end;
```

Определяем расход песка по формуле

$$\Pi = \left( 1000 - \left( \frac{\Pi}{\rho_{\text{ц}}} + B + \frac{\Pi}{\rho_{\text{щ}}} \right) \right) \rho_{\text{п}}$$

где  $\rho_{\text{ц}}$ ,  $\rho_{\text{щ}}$ ,  $\rho_{\text{п}}$  – соответственно плотность цемента, щебня и песка;  $\Pi$  – расход цемента;  $B$  – расход воды;  $\Pi$  – расход крупного заполнителя.

```
function TForm1.Pesok(a, C, Voda, Psh, Pc, Pp: real): real;
```

```
begin
```

```
.....
```

```
Pesok:=Round(((1000-(C/Pc+Voda+a/Psh))*Pp)*10)/10;
```

```
end;
```

На рис. 2 приведена часть блок-схемы, реализующая полный алгоритм проектирования состава тяжелого бетона с заданными характеристиками.

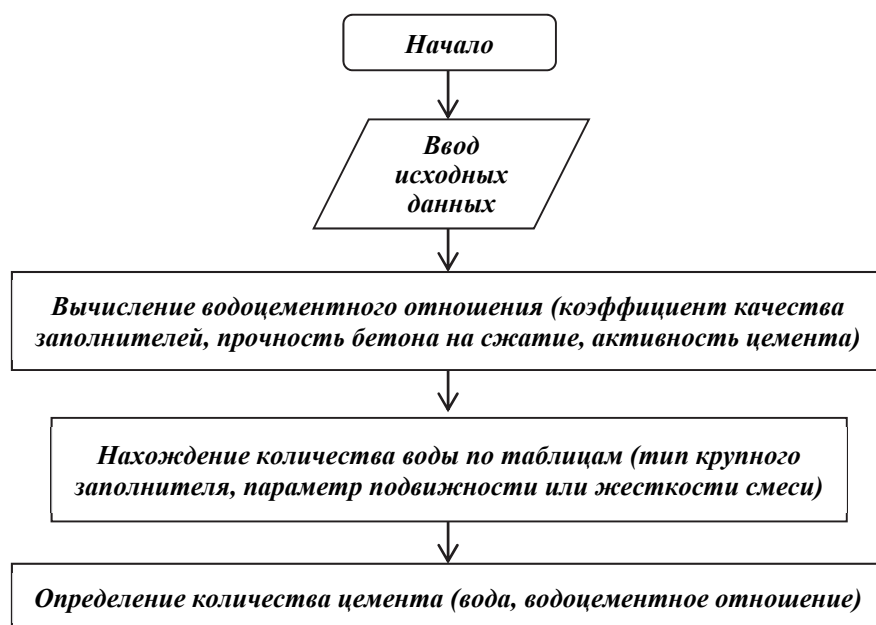


Рис. 2. Определение количества цемента и воды

На рис. 3 показан дальнейший ход вычислений, в результате которого находят также количество песка и щебня на кубический метр бетонной смеси.

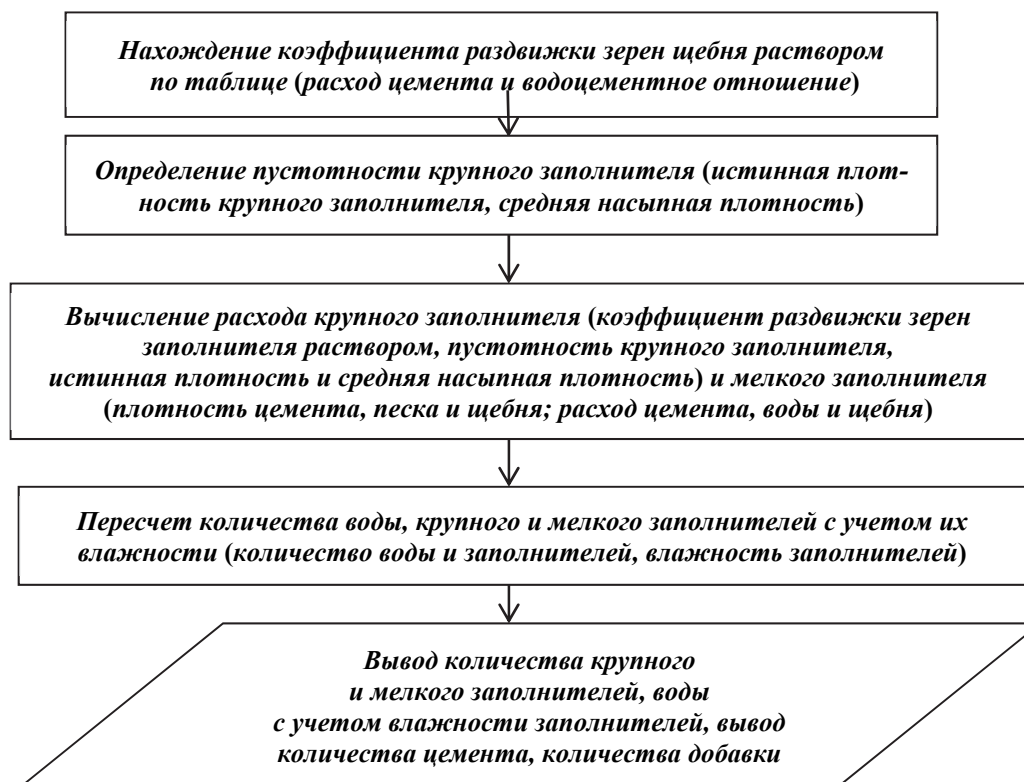


Рис. 3. Вычисление производственного состава бетона

Данный алгоритм позволяет получить тяжелый бетон заданной прочности на основе составных компонентов и свойств бетонной смеси и материалов.

### **Обеспечение взаимодействия двух сред композитного материала в строительных конструкциях**

После проектирования материала с заданными прочностными и другими характеристиками выполняется подбор армирующей среды. Арматура подразделяется на рабочую, распределительную и монтажную. Изготавливают арматуру из стали различных марок и видов. Применение того или иного вида арматурной стали в железобетонных конструкциях устанавливается проектом.

При закладке арматуры в бетон необходимо выдерживать вокруг стержней проектные размеры защитного слоя бетона, который предохраняет их от коррозии. Толщину защитного слоя бетона назначают в зависимости от вида конструкции и диаметра арматуры, а также условий, в которых будет находиться железобетон. Например, в плитах и стенках толщиной более 100 мм величина защитного слоя бетона должна быть не менее 15 мм; в балках и колоннах – 20-30 мм, а в фундаментах, бетонируемых при отсутствии подготовки, нижняя арматура должна иметь защитный слой бетона толщиной 70 мм.

Арматуру балок можно собирать из сварных каркасов, частей каркаса или отдельных стержней. При большой массе каркаса его подают в опалубку краном. Каркасы балок из отдельных стержней связывают на козелках над опалубкой.

Установка арматуры плит и сеток заключается в большинстве случаев в укладке готовых сварных сеток. При армировании конструкции отдельными стержнями на опалубке размечают мелом места расположения стержней рабочей и распределительной арматуры, после чего укладывают стержни арматуры и перевязывают их пересечения. По ней раскладывают





стержни верхней арматуры. Их связывают в сетку, поднимают на легкие стальные подставки, устанавливаемые через каждые 75-100 см, и крепят к ним. Подставки делают такой высоты, чтобы обеспечить проектное расстояние между нижней и верхней сетками арматуры плиты. Для создания защитного слоя под узлы сетки, укладываемой на опалубку, подкладывают бетонные плитки. Установленные арматурные конструкции перед бетонированием должны быть проверены и приняты по акту.

### **Заключение**

Проектирование композитных сред на заданные механические характеристики – сложный и трудоемкий процесс, требующий дальнейшего изучения и автоматизации. В этом можно убедиться на примере проектирования железобетонных конструкций, где трудности заключаются как в правильном подборе состава бетона на основе вида и условий работы конструкции, так и в подборе армирующей среды, дополнительно увеличивающей прочность конструкции.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Баженов, Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов / Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1975. – 268 с.
2. Васильев, А. С. Программное обеспечение для расчета состава тяжелого бетона (ПО «Программа проектирования состава тяжелого бетона с противоморозными добавками») / А. С. Васильев, Е. В. Гулимова, О. Е. Сысоев // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. № 2014615126. 2014.
3. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов / В. В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
4. Дворкин, Л. И. Оптимальное проектирование составов бетона / Л. И. Дворкин. – Львов: Вища школа, 1981. – 202 с.
5. Сизов, В. П. Проектирование составов тяжелого бетона / В. П. Сизов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1979. – 144 с.
6. Математическая модель шарнирной стержневой системы с большими перемещениями / Н. А. Тарануха, К. В. Жеребко, А. Н. Петрова, М. Р. Петров // Известия вузов: Строительство. – 2003. – № 3 (531). – С. 12-18.
7. Тарануха, Н. А. Программно-информационное обеспечение задачи о колебаниях стержня с большими деформациями / Н. А. Тарануха, А. Н. Петрова, Н. Н. Любушкина // Информатика и системы управления. – 2007. – № 2 (14). – С. 30-39.
8. Тарануха, Н. А. Колебания динамических систем с большими деформациями из нестандартизованного материала / Н. А. Тарануха, А. Н. Петрова, Н. Н. Любушкина // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2010. – № III-1(3). – С. 4-11.
9. Тарануха, Н. А. Определение жесткостной характеристики нестандартизованного материала упругой связи динамической системы / Н. А. Тарануха, А. Н. Петрова, Н. Н. Любушкина // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2010. – № IV-1(4). – С. 4-11.
10. Тарануха, Н. А. Математическая модель деформирования упругой связи из нестандартизованного материала для динамической системы с большими деформациями / Н. А. Тарануха, А. Н. Петрова, Н. Н. Любушкина // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № I-1(5). – С. 4-9.