

УДК 001.891.573; 519.6

**А. С. Васильев, В. П. Назарова****ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДБОРА СОСТАВА  
ТЯЖЁЛОГО БЕТОНА С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ**

Программа включает в себя подпрограммы на языке Delphi (Object Pascal), разработанные в среде Borland Delphi 7. Данный программный продукт реализует решение задач по подбору номинального и производственного состава тяжёлого бетона исходя из требуемой прочности, различных свойств бетонной смеси и её компонентов (мелкого и крупного заполнителя, цемента, добавок) с учётом коэффициента выхода и ёмкости бетоносмесителя. В результате определяется количество цемента, воды, крупного и мелкого заполнителя с учётом содержащейся в заполнителях влаги, количество сухого вещества добавки и объём раствора добавки необходимой концентрации для получения бетонной смеси с заданными свойствами. Входные данные: компоненты бетонной смеси и их свойства.

*Ключевые слова:* алгоритм, бетон, программный продукт, вычислительный эксперимент, коэффициент раздвижки.

**Введение**

Многообразие конструкций и технологий, различных классов бетона и характеристик бетонной смеси и исходных материалов требует в каждом конкретном случае расчёта состава бетона. Для решения этой задачи и получения бетона с заданными характеристиками необходимо проектировать состав бетона, то есть подбирать составные компоненты бетонной смеси и их количество. Однако предварительный подбор состава сопряжён с определёнными трудностями. Разнообразие видов цемента, мелкого и крупного заполнителя существенно усложняет расчёт. Получение бетона требуемой прочности зависит от различных характеристик его составляющих (класс бетона, подвижность или удобоукладываемость бетонной смеси, показатель качества заполнителей, нормальная густота цементного теста, марка цемента, истинная и средняя насыпная плотность цемента, истинная и средняя насыпная плотность мелкого заполнителя, влажность и водопотребность мелкого заполнителя, модуль крупности мелкого заполнителя, средняя и насыпная плотность крупного заполнителя, максимальная крупность и влажность крупного заполнителя, количество и вид добавки, концентрация и плотность раствора добавки и др.). Многообразие факторов, влияющих на состав бетона, приводит к необхо-

---

**Васильев Алексей Сергеевич** — кандидат технических наук, старший преподаватель (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vasil-grunt@mail.ru.

**Назарова Вероника Павловна** — студент (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: student.nika1661@mail.ru.

© Васильев А. С., Назарова В. П., 2018

---

димости предварительного проектирования состава бетона, то есть проведения вычислительного эксперимента. В результате возникает необходимость создания программного продукта, учитывающего проектирование состава бетона при изменении характеристик материалов и бетонной смеси. Это даёт возможность в кратчайшие сроки осуществлять подбор состава тяжёлого бетона исходя из экономических факторов и условий эксплуатации конструкций. Помимо вышесказанного, данная программа может быть использована в учебных целях для изучения влияния компонентов бетонной смеси на состав бетона. При этом программа должна иметь базу данных, содержащую справочную информацию о добавках в бетоны, что весьма полезно как при выборе нужной добавки исходя из условий эксплуатации железобетонной конструкции, так и для ознакомления с ней студентов вузов.

Цель работы: Выбор алгоритма и написание программного продукта для проведения вычислительного эксперимента и предварительного расчёта состава тяжёлого бетона с добавками.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

1) Изучить и проанализировать методики подбора состава бетона и выбрать наиболее оптимальную, содержащую наиболее удобный и подробный алгоритм расчёта;

2) Разработать наиболее оптимальную программную среду для визуализации данных и расчётов и автоматизировать процесс расчёта состава тяжёлого бетона, в том числе с учётом концентрированных растворов добавок и влажности заполнителей;

3) Описать применение программы для расчёта конкретного состава тяжёлого бетона с противоморозными добавками;

4) Составить базу данных, содержащую информацию об основных добавках для бетона.

Ниже приведены некоторые фрагменты процедур и функций кода программы [3], реализованной на платформе Borland Delphi 7 языка программирования Object Pascal, содержащего алгоритмы для проектирования состава тяжёлого бетона.

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

$$\frac{B}{C} = \frac{A \cdot R_c}{R_b + A \cdot 0.5 \cdot R_c}, \quad (1)$$

где  $R_b$  – требуемая прочность при сжатии,  $R_c$  – 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 исходя из таблиц.

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

Находят расход цемента:

$$Ц = B / \frac{B}{Ц}, \quad (2)$$

где B — количество воды на кубический метр смеси.

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

Определяют расход заполнителя:

$$Щ = \frac{1000}{\alpha \frac{v_{\text{пуч.щ}}}{\gamma_{\text{щ}}^{\text{н}}} + \frac{1}{\rho_{\text{щ}}}}, \quad (3)$$

где Щ — расход крупного заполнителя кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{щ}}$  — плотность крупного заполнителя,  $v_{\text{пуч.щ}}$  — межзерновая пустотность крупного заполнителя в относительных единицах,  $\alpha$  — коэффициент раздвижки зёрен крупного заполнителя раствором,  $\gamma_{\text{щ}}^{\text{н}}$  — 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:

$$П = \left( 1000 - \left( \frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}} + B + \frac{Щ}{\rho_{\text{щ}}} \right) \right) \rho_{\text{п}}, \quad (4)$$

где  $\rho_{\text{ц}}$ ,  $\rho_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{щ}}$  — плотность цемента, песка и щебня, Ц — расход цемента, B — расход воды, Щ — 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
```

Ниже приведена часть блок-схемы, реализующая полный алгоритм проектирования состава тяжёлого бетона с заданными характеристиками.

На рисунке 2 показан дальнейший ход вычислений, в результате которого находят также количество песка и щебня на кубический метр бетонной смеси.



Рис. 1. Определение количества цемента и воды

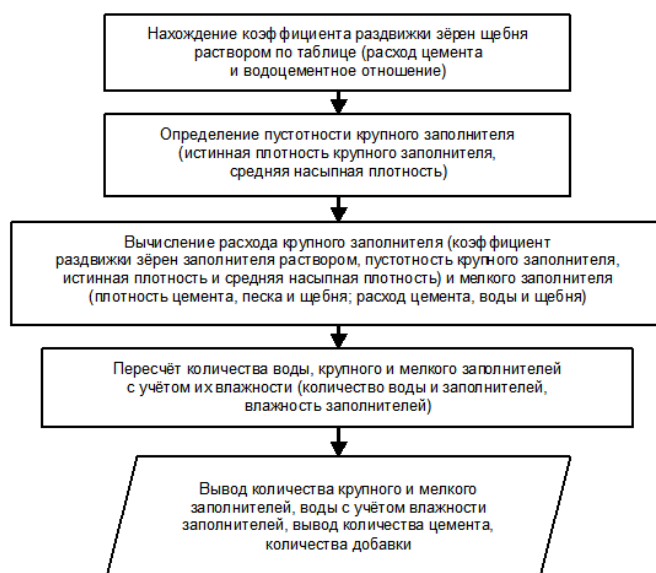


Рис. 2. Вычисление производственного состава бетона

Данный алгоритм позволяет получить тяжёлый бетон заданной прочности исходя из составных компонентов и свойств бетонной смеси и материалов.

Для правильного дозирования и равномерного распределения добавки вводят в бетонную смесь в виде водного раствора рабочей концен-

трации, то есть раствора, которым затворяется смесь без дополнительного введения в неё воды.

В результате при расчёте состава бетона с добавками нужно пересчитывать количество воды, т. к. часть воды должна попадать в смесь в виде водного раствора добавки, что усложняет проектирование состава.

### 1. База данных, содержащая классификацию добавок

Программа, как уже было сказано, содержит классификацию добавок. При этом пользователь может вывести на экран как всю базу данных добавок, так и интересующую его группу добавок (рис. 3).

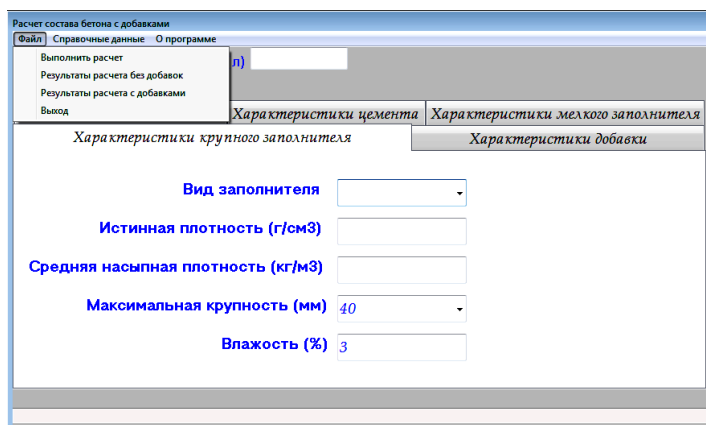


Рис. 3. Главное меню программы

При выделении соответствующей группы добавок и нажатии на клавишу «Вывод информации о добавках» появляется таблица, содержащая выбранную группу добавок. Ниже приведены противоморозные добавки, содержащиеся в базе данных. Аналогично можно выбрать любую группу добавок (рис. 4).

Таблица имеет следующие поля: полное название добавки, краткое название добавки, характеристика добавки, разновидность, дозировка.

### 2. Экспериментальное уточнение начального (расчётного) состава бетонной смеси

Для проверки работы программы был подобран состав бетона класса В35 с применением следующих материалов: портландцемент марки М500. Нормальная густота цементного теста 27 %, истинная плотность цемента  $3,1 \text{ г/см}^3$ , средняя насыпная плотность —  $1\,450 \text{ кг/м}^3$ . Песок средней крупности с водопотребностью 7 %, плотностью  $2,63 \text{ г/см}^3$ , объёмной массой  $1\,500 \text{ кг/м}^3$ , влажностью 4 % и модулем крупности 2,5. Крупный заполнитель — гранитный щебень с предельной крупностью 40 мм, плотностью  $2,6 \text{ г/см}^3$ , объёмной массой  $1\,480 \text{ кг/м}^3$ , влажностью 3 %. Заполнители удовлетворяют требованиям ГОСТа.

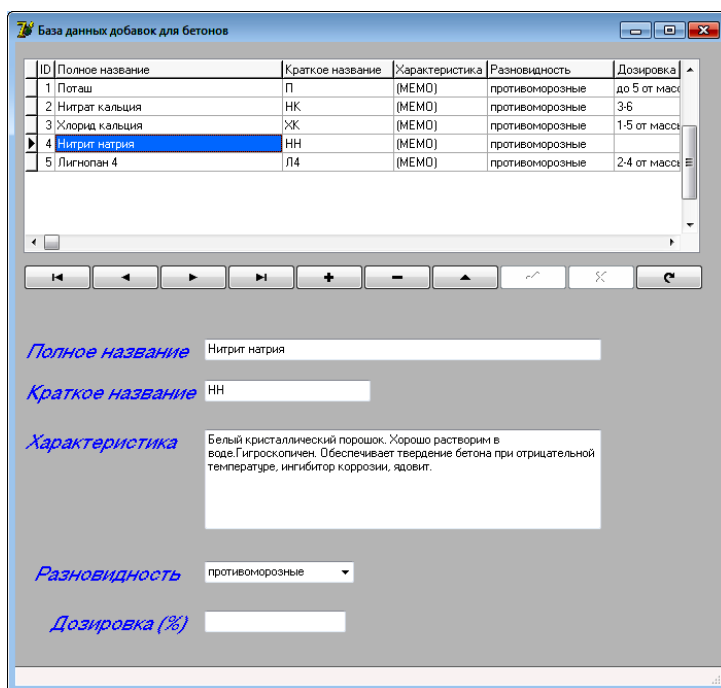


Рис. 4. База данных добавок для бетонов

В результате был получен следующий состав бетонной смеси (рис. 5).

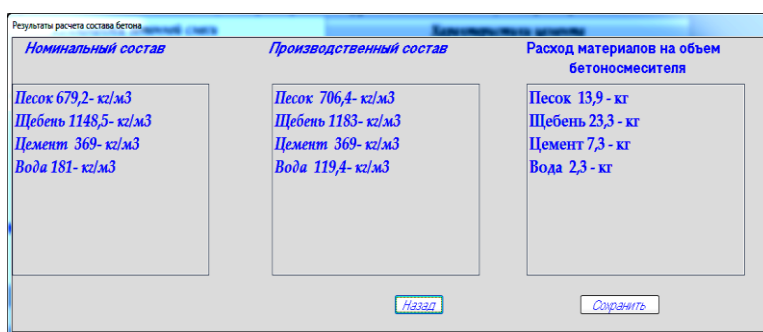


Рис. 5. Результаты расчёта состава бетона

Уточнение и корректировка рабочего состава проводились на предприятии ООО «Масис». Был рассчитан расход материалов на пробный опытный замес 30 л. Расход материалов для замеса по массе: песка 13,9 кг; щебня 23,3 кг; воды 2,3 кг; цемента 7,3 кг. Всего 46,8 кг. Затем было изготовлено 2 серии контрольных образцов размером 100×100×100 мм с маркировкой 06-10.

Результаты испытания контрольных образцов приведены в таблице.

Таблица

## Результаты испытания контрольных образцов

Марка образца	Дата изготовления	Возраст	Условия твердения (температурно-влажностный режим)	Масса образца, г	Площадь образца, мм <sup>2</sup>	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Разрушающий груз, кН	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>3</sup>	
								Отдельных образцов	Средний
06-10	06.02.14	7	Норм.	2448	100000	2,448	356	356	
06-10	06.02.14	7	То же	2446	100000	2,446	364	364	362
06-10	06.02.14	7	То же	2450	100000	2,450	360	360	
06-10	27.02.14	28	Норм.	2452	100000	2,452	482	482	
06-10	27.02.14	28	То же	2448	100000	2,448	484	484	487
06-10	27.02.14	28	То же	2450	100000	2,450	490	490	

Предел прочности образцов в возрасте 28 суток в среднем соответствовал 487 кгс/см<sup>3</sup>, что соответствует классу бетона В35. Условия твердения (температурно-влажностного режима) бетона соответствовали нормальным. Из вышеперечисленных данных можно сделать вывод, что бетон данного состава соответствует классу по прочности на сжатие В35.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

а) изучены и проанализированы методики подбора состава бетона и выбрана наиболее оптимальная, содержащая наиболее удобный и подробный алгоритм расчёта;

б) разработана наиболее оптимальная программная среда для визуализации данных и расчётов и автоматизации процесса подбора состава тяжёлого бетона с учётом концентрированных растворов противоморозных добавок и влажности заполнителей;

в) «Программа проектирования состава тяжёлого бетона с противоморозными добавками» применена на конкретном примере;

г) составлена база данных, содержащая основную информацию о различных добавках для бетона.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов. М.: Стройиздат. 1975. 268 с.
2. Дворкин Л. И. Оптимальное проектирование составов бетона. Львов: Вища школа. 1981. 202 с.
3. Программа проектирования состава тяжёлого бетона с противоморозными добавками: программа для ЭВМ № 2014615126 RU / Васильев А. С., Гулимова Е. В., Сысоев О. Е. № 2014612570; заявл. 25.03.2014; зарег. 20.05.2014; опубли. 20.06.2014.
4. Сизов В. П. Проектирование составов тяжёлого бетона. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1979. 144 с.

\* \* \*

**Vasilyev Alexey S., Nazarova Veronika P.**  
**DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE CALCULATION**  
**OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**  
(Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

The program includes subroutines in the Delphi (Object Pascal) language, developed in the Borland Delphi 7 environment. This software product implements the solution of tasks for selecting the nominal and production composition of heavy concrete based on the required strength, various properties of the concrete mix and its components (small and large aggregate, cement, additives), taking into account the yield coefficient and capacity of the concrete mixer. As a result, the amount of cement, water, coarse and fine aggregate is determined taking into account the moisture content of the aggregates, the amount of dry matter of the additive and the volume of the additive solution of the required concentration to produce a concrete mix with the desired properties. Input: components of the concrete mix and their properties.

*Keywords:* algorithm, concrete, software, computational experiment, coefficient of expansion.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu. M. *Sposoby opredeleniya sostava betona razlichnyh vidov* (Methods of determining the composition of the concrete of various types), Moscow, Stroyizdat Publ., 1975. 268 p.
2. Dvorkin L. I. *Optimal'noe proektirovanie sostavov betona* (Optimal design of concrete compositions), L'vov, Vishcha shkola Publ., 1981. 202 p.
3. Vasilyev A. S., Galimova E. V., Sysoev E. O. *Programma proektirovaniya sostava tyazhyologo betona s protivomoroznymi dobavkami: programma dlya EVM 2014615126 RU* (Program for designing the composition of heavy concrete with antifreeze additives: computer program No. 2014615126 RU), registered on 05/20/2014, published on 06/20/2014.
4. Sizov V. P. *Proektirovanie sostavov tyazhyologo betona* (Design of heavy concrete compositions), 3 th ed, Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 144 p.

\* \* \*