УДК 691.327-47

***Ю.Ю. Пескова, М.Ю. Белозор***

# ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛЕЦ НА УСТАНОВКЕ “ATLAS”

Колодезные кольца – это железобетонные изделия, имеющие весьма широкую сферу применения благодаря простому и быстрому способу монтажа важных элементов инженерных коммуникаций. Установка “ATLAS” компании “Prinzig” позволяет изготавливать стеновые кольца колодцев канализации методом вибропрессования. Для данной установки подобран оптимальный состав, отвечающий особенностям установки и требованиям стандартов качества, при этом используются местные исходные материалы.

Железобетонные кольца, вибропрессование, немедленная распалубка, установка “ATLAS”, тяжелый бетон, местные материалы, математическое планирование эксперимента, оптимальный состав.

Well rings are the ferroconcrete goods that have a very broad scope of application thanks to the simple and rapid method of installation of the important elements of engineering communication. Plant ATLAS of campaign Prinzig allows producing wall rings of sewage well using the method of vibrocompression. For this plant the optimal composition was selected answering the features of the plant and the requirements of quality standards, using local source materials.

Ferroconcrete rings, vibrocompression, stripping of formwork, plant “ATLAS”, heavy-weight concrete, local materials, mathematical planning of the experiment, optimal composition.

Установка “ATLAS”, предназначенная для производства колодезных элементов, позволяет изготавливать стеновые кольца колодцев канализации диаметром 1, 1,5 и 2 м (высота стенок 0,89, 0,59 и 0,29 м) методом вибропрессования. Качество колец соответствует европейским стандартам. Кольца в верхней и нижней части имеют замки для предотвращения сдвига шахты колодца от бокового давления грунта. Технологический процесс производства колец колодцев состоит из следующих операций [5]:

1. Установка арматурного каркаса в опалубку.
2. Подача бетонной смеси из бункера при помощи скребков транспортера. При одновременном уплотнении бетона путем вибрации заполняется опалубка.
3. Формирование кольца производят при помощи действия вибрации и прессующего устройства.
4. Распалубка изделия. Извлечение и транспортировка.

Преимущества установки “ATLAS”:

1) высокая гибкость установки;
2) сборка компонентов машины в зависимости от специфики продукта;
3) эргономичное расположение оборудования и опалубки;
4) привлекательное соотношение цены и производительности при производстве малых и средних объемов изделий;
5) незначительные инвестиционные затраты;
6) высочайшая прочность бетонных изделий;
7) многообразие возможностей придания формы изделиям малого и крупного формата;
8) рациональность изготовления любого объема продукции по желанию вплоть до полностью автоматизированного производства.

На установке “ATLAS” смесь уплотняется методом вибропрессования. Преимущества метода:

1. Быстрое и однородное уплотнение за счет вибрации дополнительного гидравлического прессующего давления.
2. Незначительное водоцементное отношение и высокая прочность бетонных изделий.
3. Короткое время цикла за счет быстрого протекания процесса уплотнения и моментальной распалубки.

Технология вибропрессования позволяет производить распалубку изделий непосредственно после формования (немедленная распалубка), но для этого требуется повышенная жесткость смеси [4].

Получение качественного бетона во многом зависит от правильного подбора состава смеси, при этом важно знать, характеристики самих составляющих смеси и технологические особенности. Согласно технической документации, колодезные кольца изготавливаются из тяжелого бетона класса В15 по прочности на сжатие, марка по морозостойкости F50 назначается в зависимости от режима эксплуатации и климатических условий, водопоглощение до 6 % по массе [1], [2].

Выбор материалов производился из уже используемых на заводе «ЖБИиК». В качестве вяжущего был выбран портландцемент со шлаком ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б (ЗАО «Пикалевский цемент») со следующими полученными в ходе испытаний характеристиками:

– начало схватывания 3 ч 17 мин.;
– конец схватывания 5 ч 26 мин.;
– равномерность изменения объема 1,2 мм;
– удельная поверхность 342 $м^2$/кг;
– тонкость помола 93,6 %.

В качестве крупного заполнителя использовался щебень из доменного шлака фракция 5 – 10 мм (ОАО

«Северсталь») со следующими характеристиками:

– насыпная плотность 1210 кг/м$^3$;

– марка по дробимости 60 МПа;

– морозостойкость F150;

– массовая доля зерен лещадной формы 3,2 %;

– массовая доля пылевидных частиц 0,7 %.

В качестве мелкого заполнителя – песок строительный средний 1 класса (Лапшевский карьер):

– насыпная плотность в сухом состоянии 1,53 т/м$^3$;

– модуль крупности 2,5;

– влажность по массе 3 %;

– содержание пылевидных и глинистых частиц по массе 1,2 %.

Свойства данных материалов были исследованы по методикам, описанным в ГОСТ при сравнении полученные результаты с нормативными требованиями было выявлено, что сырье соответствует нормам.

Планирование эксперимента и выбор состава бетона с применением математико-статистических методов производят при организации производства изделий по новой технологии. Сущность планирования эксперимента и выбора состава бетона с применением математико-статистического метода заключается в установлении математической зависимости между заданными свойствами бетона и расходом и свойствами составляющих компонентов.

При проведении эксперимента в зависимости от условий стоящей задачи все факторы варьируются на трех уровнях: основном – (0); нижнем – (-) и верхнем – (+), отстоящих от основного на одинаковую величину, называемую интервалом варьирования принятым 0,05 [3].

В качестве переменных факторов, определяющих изменчивость оптимизируемых параметров, назначаются В/Ц смеси – $X_1$, агрегатно-структурный фактор, $r = M/(M+K)$ (доля песка в смеси заполнителей) – $X_2$, расход цемента – $X_3$. Приняты следующие значения переменных факторов:

– на основном уровне $x_1 = 0{,}45$; $x_2 = 0{,}60$; $x_3 = 370$;

– на верхнем уровне $x_1 = 0{,}50$; $x_2 = 0{,}65$; $x_3 = 420$;

– на нижнем уровне $x_1 = 0{,}40$; $x_2 = 0{,}55$; $x_3 = 320$.

Опытные замесы в зависимости от числа факторов и условий эксперимента проводят по заранее составленному плану (матрице планирования). Для эксперимента был принят трехуровневый нелинейный план для $k = 3$ (табл. 1).

В ходе эксперимента были выполнены замесы, а также изготовлены образцы – кубы, размером 100х100х100 мм, для испытания прочности на сжатие на 1-е и 28-е сут. В результате были получены следующие результаты (табл. 2).

После обработки результатов испытаний были получены следующие уравнения зависимости (1):

$$\begin{aligned}
\dot{y}_1 &= 15{,}69 + 3{,}39x_3 + 2{,}93x_1^2 - 3{,}97x_2^2, \\
\dot{y}_{28} &= 28{,}49 - 1{,}63x_2 + 6{,}49x_3 + 4{,}73x_1^2 - \\
&- 7{,}65x_2^2 + 2{,}32x_3^2 + 2{,}6x_1x_2, \\
\dot{y}_ж &= 18{,}79 - 3{,}7x_1 + 2{,}4x_3 + 4{,}2x_2x_3, \\
\dot{y}_ρ &= 2{,}25 + 0{,}02x_1 - 0{,}014x_2 + 0{,}44x_3 + 0{,}58x_2x_3.
\end{aligned} \qquad (1)$$

По полученным уравнениям, которые являются пригодными для описания исходной зависимости в исследованных пределах изменения факторов, построены графические зависимости свойств от факторов варьирования (рис. 1, 2).

*Таблица 1*

**Трехуровневый план проведения эксперимента при числе факторов $k = 3$**

| № опыта | | Матрица планирования ($x_i$) | | | Натуральные значения переменных | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1$-$B$/Ц | $x_2$ – г $=M/(M+K)$ | $x_3$ – цемент |
| $N_1$ | 1 | + | + | + | 0.50 | 0.65 | 420 |
| | 2 | - | + | + | 0.40 | 0.65 | 420 |
| | 3 | + | - | + | 0.50 | 0.55 | 420 |
| | 4 | - | - | + | 0.40 | 0.55 | 420 |
| | 5 | + | + | - | 0.50 | 0.65 | 320 |
| | 6 | - | + | - | 0.40 | 0.65 | 320 |
| | 7 | + | - | - | 0.50 | 0.55 | 320 |
| | 8 | - | - | - | 0.40 | 0.55 | 320 |
| $N_\alpha$ | 9 | + | 0 | 0 | 0.50 | 0.60 | 370 |
| | 10 | - | 0 | 0 | 0.40 | 0.60 | 370 |
| | 11 | 0 | + | 0 | 0.45 | 0.65 | 370 |
| | 12 | 0 | - | 0 | 0.45 | 0.55 | 370 |
| | 13 | 0 | 0 | + | 0.45 | 0.60 | 420 |
| | 14 | 0 | 0 | - | 0.50 | 0.65 | 420 |
| $n_0$ | 15 | 0 | 0 | 0 | 0.40 | 0.65 | 420 |
| | 16 | 0 | 0 | 0 | 0.50 | 0.55 | 420 |
| | 17 | 0 | 0 | 0 | 0.40 | 0.55 | 420 |

*Таблица 2*

**Результаты эксперимента**

| Номер опыта | $\rho_{ср}$, г/см$^2$ | $R_{сж}$, Мпа | | Жесткость, с |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 сут. | 28 сут. | |
| 1 | 2,28 | 14,28 | 25,27 | 13 |
| 2 | 2,24 | 14,5 | 26,7 | 20 |
| 3 | 2,29 | 14,54 | 24,64 | 19 |
| 4 | 2,25 | 15,93 | 36,32 | 16 |
| 5 | 2,29 | 14,41 | 26,85 | 15 |
| 6 | 2,23 | 13,62 | 24,54 | 24 |
| 7 | 2,29 | 16,88 | 25,24 | 14 |
| 8 | 2,31 | 12,35 | 33,47 | 24 |
| 9 | 2,25 | 20,43 | 37,53 | 11 |
| 10 | 2,18 | 17,42 | 29,36 | 25 |
| 11 | 2,23 | 12,03 | 21,09 | 18 |
| 12 | 2,27 | 12,89 | 21,03 | 20 |
| 13 | 2,24 | 11,4 | 24,67 | 18 |
| 14 | 2,25 | 20,52 | 37,4 | 15 |
| 15 | 2,28 | 16,63 | 29,77 | 17 |
| 16 | 2,27 | 15,39 | 28,31 | 20 |
| 17 | 2,25 | 13,81 | 26,44 | 22 |

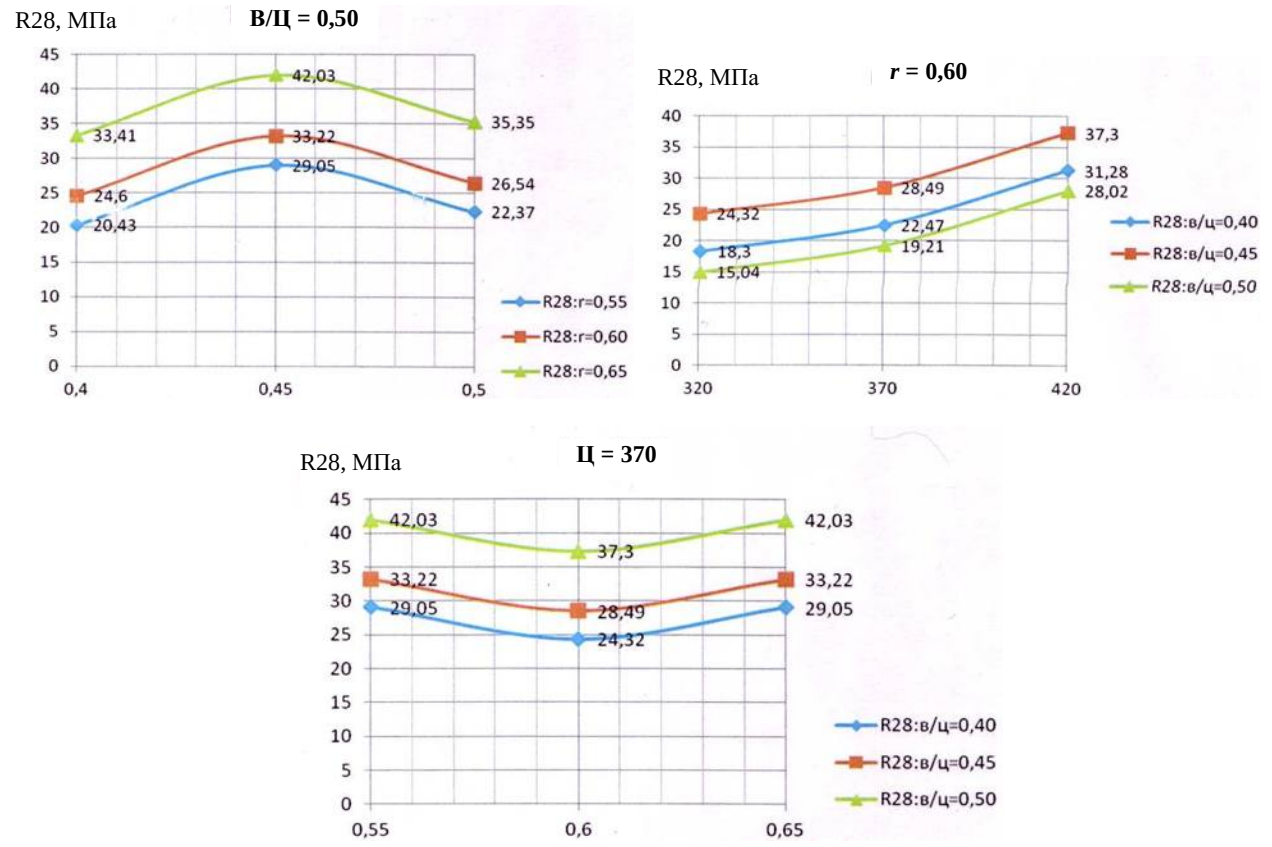



Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии бетона
на 28 сут. от факторов варьирования

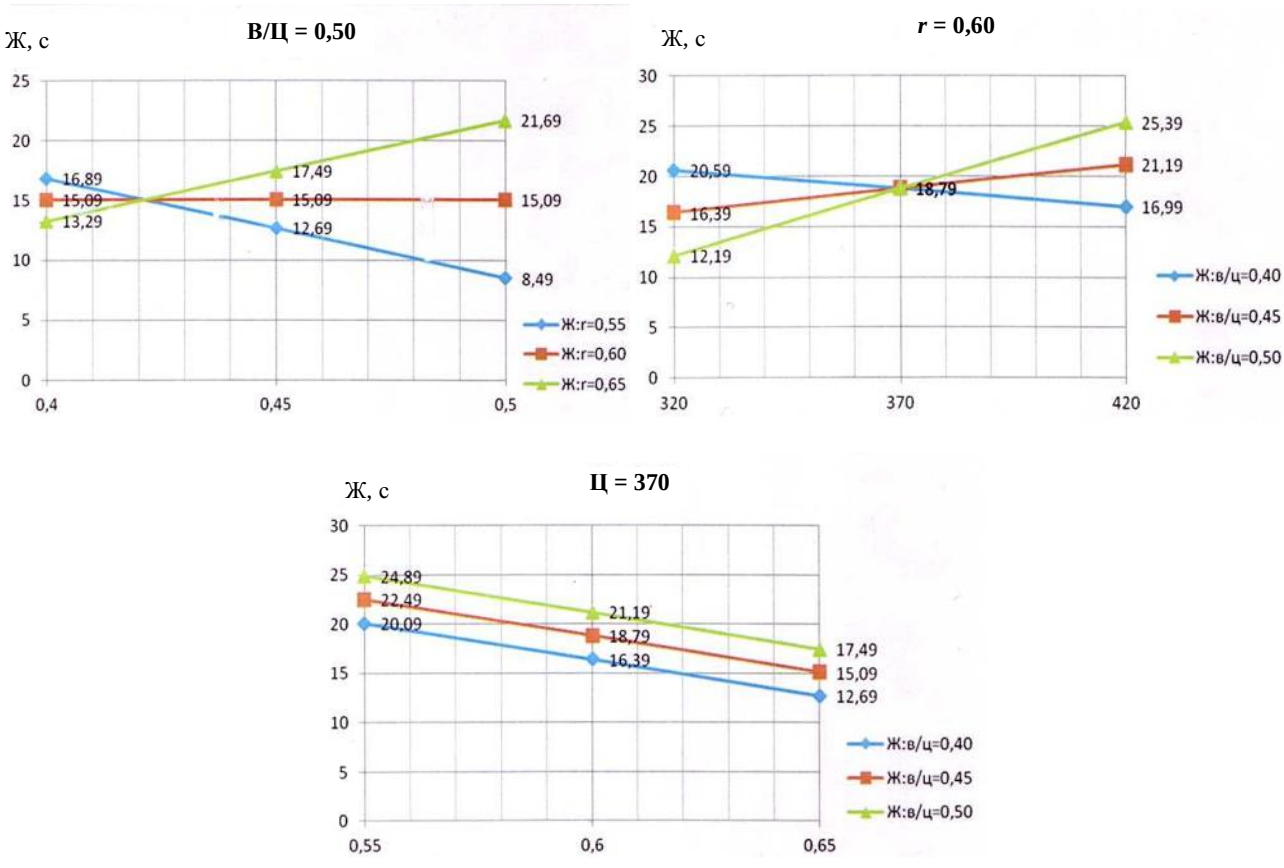



Рис. 2. Зависимость жесткости от факторов варьирования

В результате анализа графических зависимостей был определен оптимальный состав: В/Ц = 0,50; $r$ = 0,60; цемент = 370 кг/м$^3$.

Результаты испытаний на водопоглощение оптимального состава бетона приведены в табл. 3.

*Таблица 3*

**Испытание образцов на водопоглощение**

| Номер образца | Сушка | | | Водопоглощение | | | | $W_m$, % | $W_m$,% серии обр. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 28.03 | 29.03 | 30.03 | 02.04 | 03.04 | 04.04 | 05.04 | | |
| 1 | 2350 | 2280 | 2280 | 2355 | 2358 | 2360 | 2360 | 3,5 | 3,83 |
| 2 | 2310 | 2285 | 2284 | 2386 | 2390 | 2395 | 2395 | 4,9 | |
| 3 | 2310 | 2285 | 2285 | 2350 | 2353 | 2355 | 2355 | 3,1 | |

Бетон оптимального состава был также исследован на морозостойкость. Она определялась ускоренным методом путем насыщения образцов кубов бетона в 5 %-м растворе хлористого натрия. Согласно ГОСТ 10060.0-95 на проектируемую марку F50 данным способом необходимо провести 8 циклов замораживания и оттаивания в растворе хлористого натрия. Средняя прочность контрольных образцов составила 23,832 МПа, а средняя прочность образцов, прошедших испытания, – 22,94 МПа. Изменение средней прочности составило 3,74 %, что меньше нормативного (5 %).

Таким образом, характеристики полученного состава соответствуют бетону по прочности класса В15 ($R_{сж}$ = 37,53 МПа, по морозостойкости F50, водопоглощение не более 6 %). Полученный состав можно рекомендовать к использованию на установке “ATLAS” по производству колодезных элементов.

Литература

1. *Баженов, Ю.М.* Технология бетона, строительных изделий и конструкций / [Ю.М. Баженов и др.]. – М., 2006.

2. *Бердичевский, Г.И.* Производство сборных железобетонных изделий: справочник / [Г.И. Бердичевский и др.]; под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королева. – М., 1989.

3. Лабораторный практикум по курсу технологии бетона и железобетонных изделий / А.В. Ферронская, В.И Стамбулко. – М.,1988.

4. *Сорокер, В.И.* Жесткие бетонные смеси в производстве сборного железобетона / В.И. Сорокер, Д.В. Довжик. – М., 1958.

5. Установка ATLAS компании Prinzing. – URL: http://www.prinzing-gmbh.de/russisch/prinzing.htm

УДК 519.63

***Н.Н. Синицын, З.К. Кабаков, А.В. Степанова, А.Г. Малинов***

## МОДЕЛЬ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА

В статье приведено математическое описание алгоритмов процесса замораживания железорудного концентрата, проведено тестирование численной модели замораживания железорудного концентрата при граничных условиях первого рода. Представлены результаты исследования влияния настроечных параметров численного алгоритма на погрешность моделирования.

Математическая модель замораживания железорудного концентрата, тестирование, задача Стефана, погрешность решения.

The paper describes an algorithm of freezing process of iron ore concentrate; the numerical model of freezing of iron ore concentrate under the boundary conditions of the first kind has been tested. The influence of settings of the numerical algorithm on the simulation error has been presented.

Mathematical model of freezing of iron ore concentrate, testing, Stephen task, solution error.

Железорудный концентрат поставляется на металлургические предприятия в железнодорожных вагонах. Так как концентрат влажный, в зимний период он замерзает. Для выгрузки концентрата из вагона его необходимо размораживать. Для определения продолжительности размораживания необходимо знать степень замораживания концентрата. В связи с этим возникает необходимость в исследовании закономерностей замораживания концентрата. Для изучения закономерностей замораживания железорудного концентрата разработано математическое описание процесса. При разработке описания принято во внимание, что концентрат занимает форму в виде плоского слоя. Замораживание осуществляется принудительной конвекцией холодного воздуха. Математическая модель одномерного симметричного