

## **РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ В ВЫБОРЕ РЕЦЕПТУРЫ СОСТАВОВ ТВЕРДЕЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

В статті наведені існуючі на сьогоднішній день методи вибору рецептури складу бетонних сумішей, основні правила для проектування складів бетону. Подані графіки та номограми, за допомогою яких можуть бути визначені властивості бетонних сумішей.

## **THE RETROSPECTIVE ANALYSIS OF METHODOLOGICAL APPROACHES IN THE CHOICE OF THE COMPOUNDING OF STRUCTURES OF HARDENING MATERIALS WITH THE SET PROPERTIES**

In article methods of a choice of a compounding of structure of concrete mixes existing on today, key rules for designing structures of concrete are resulted. Schedules and nomograms with which help properties of concrete mixes can be determined are given.

Интенсификация и концентрация добычных работ на угольных шахтах сопровождается необходимостью увеличения не только темпов проходки, но и сечения горных выработок, что неизбежно вызывает необходимость решения задачи по их поддержанию. Ежегодно на поддержание выработок угольных шахт Украины расходуется свыше 100 тыс. тонн металла, стоимость которого составляет около 500 млн. грн. Соответственно, это вызывает повышение себестоимости добываемого угля. Исходя из этого, ключевой становится задача замены металлов на другие, более дешевые неметаллические материалы, применение которых позволит обеспечить повторное использование выработок.

Одним из таких способов поддержания горных выработок является возведение литых околоштрековых полос, основным материалом которых являются твердеющие вяжущие вещества.

За многолетний опыт применения литых полос для охраны горных выработок были испробованы очень многие твердеющие материалы, но данная проблема на сегодняшний день остается открытой, поскольку нет такого состава, который мог бы удовлетворить все предъявляемые требования. Поэтому в данном аспекте основным можно назвать вопрос выбора оптимального состава строительных смесей для формирования литой полосы. Возникает задача изучения свойств твердеющего материала с учетом геомеханики взаимодействия его с боковыми породами [1].

Одно из основных направлений повышения эффективности использования бетона для литых полос – ресурсосбережение [2]. К сожалению, в настоящее время проектирование бетонных конструкций выполняется вне связи с технологией их изготовления. Соотношения требуемых свойств бетона, например, прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, довольно часто не взаимосвязаны. Таким образом, можно сказать, что ресурсосбережение напрямую связано с совершенствованием рецептурно-технологических решений составов бетона. Это в полной мере относится и к твердеющим материалам, применяемым для литья охранных приштрековых полос. В виду того, что основная со-

ставляющая бетона - дорогостоящий цемент, возникает необходимость рационального его использования. В связи с этим существует необходимость прогнозирования свойств бетона, что осуществляется с помощью математического моделирования. Это позволяет прогнозировать свойства бетона уже на стадии проектирования, учитывать зависимость свойств конечного продукта от изменения свойств исходных материалов. Наибольшую практическую значимость прогнозирование свойств бетона приобретает в том случае, если оно направлено на выбор эффективного сочетания технологических факторов при достижении требуемых качественных показателей бетона.

Развитие технологии бетона требует усовершенствования методов назначения составов бетона. Изначально составы бетонов выбирались теоретически – путем пробного подбора соотношения между компонентами смеси, который и обеспечивал получение бетонной смеси необходимого качества. Постепенно этот теоретический подбор привел к разработке аналитических методов проектирования составов бетона, которые основываются на ряде закономерностей и количество расчетно-экспериментальных методов довольно велико.

Основоположником методологии проектирования составов бетона является Д. Абрамс, который предложил два метода проектирования: «пробный метод» или экспериментальный подбор и метод предварительных вычислений.

Проектирование составов бетона сводится к основной задаче – при наименьшем расходе цемента получить бетон с необходимыми качественными характеристиками. При проектировании различными расчетно-экспериментальными методами определяется соотношение исходных компонентов бетонной смеси, которые обеспечат минимальный расход цемента при заданных исходных параметрах, таких как качество цемента, его деформационные характеристики. Эти расчетно-экспериментальные методы основаны, в первую очередь, на законе водоцементного отношения, позволившего связать количественными зависимостями прочность бетона и состав бетонной смеси.

Схема проектирования бетонных смесей основана на анализе связи требуемых показателей свойств бетона с такими ключевыми параметрами, как водоцементное отношение ( $V/C$ ), водосодержание ( $V$ ), доля песка в смеси заполнителей ( $r$ ), объем вовлеченного воздуха ( $V_{в.з}$ ) и др. и нахождении их значений, т.е. расчет состава бетона.

Задача выбора рецептуры состава бетонной смеси может быть максимально простой – когда нужно определить наиболее оптимальный выходной параметр при определенном расходе материала. Но существует и более сложная задача – определить комплекс показателей свойств смеси с минимальным расходом цемента или добавок, минимальной стоимостью. Для решения таких задач Дворкиным О. Л. разработаны различные схемы проектирования (оптимизации) бетонных смесей. В зависимости от заданных условий им предложено три основных типа задач расчета составов многокомпонентных смесей [3]:

1. Задана рецептура состава, связанная с процентным содержанием каждого компонента смеси.
2. Заданы качественные параметры смеси.

3. Заданы технические свойства смеси.

Наиболее простой задачей является задача 1-го типа. На практике также могут встречаться комбинированные задачи, а их решение или решение задач 2-го или 3-го типа постепенно перерастает в задачу 1-го типа.

Для расчета составов многокомпонентных смесей используется равенство [3]:

$$\sum_1^n \varphi_i = 1 \quad (1)$$

где  $\varphi_i$  – удельная доля  $i$ -го компонента смеси;  $n$  – число компонентов смеси. Простейшим решением задач 1-го типа является такой алгоритм:

$$X_1 = \frac{\varphi_1}{\varphi_1 + \varphi_2}; \quad X_{n-1} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_{n-1}}{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n} \quad (2)$$

Откуда можно найти объемные доли каждого компонента смеси:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{n-1}; \quad \varphi_2 = (1 - X_1)X_2 \dots X_{n-1} \\ \varphi_{n-1} &= (1 - X_{n-2})X_{n-1}; \quad \varphi_n = 1 - X_{n-1} \end{aligned} \quad (3)$$

Для решения задач 2-го типа используется условие аддитивности [3]:

$$K_c(m_1 + m_2 + \dots + m_n) = K_1 m_1 + K_2 m_2 + \dots + K_n m_n \quad (4)$$

Где  $K_c, K_1, K_2, K_n$  - качественные показатели смеси и исходных компонентов;  $m_1, m_2, m_n$  – доли исходных компонентов.

Ну и наконец, для решения наиболее сложных задач 3-го типа применяется система уравнений [3]:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(P_1, P_2, \dots, P_{n-1}) \geq y_1^0; \quad (\text{или } < y_1^0) \\ y_2 &= f_2(P_1, P_2, \dots, P_{n-1}) \geq y_2^0; \quad (\text{или } < y_2^0) \\ y_{n-1} &= f_{n-1}(P_1, P_2, \dots, P_{n-1}) \geq y_{n-1}^0; \quad (\text{или } < y_{n-1}^0) \\ C_r &= f(P_1, P_2, \dots, P_{n-1}) \rightarrow opt \end{aligned} \quad (5)$$

где  $y_1^0, y_2^0, y_{n-1}^0$  – заданные показатели свойств смеси;  $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$  - параметры состава смеси;  $C_r$  - критерий оптимизации.

Как известно, расчет рецептуры составов сводится к расчету расхода основного компонента бетона – цемента. Но при проектировании составов бетонов с различными добавками не меньшее значение имеет выбор оптимального расхода добавок и заполнителей. Ведь уменьшение стоимости бетона не всегда зависит только от уменьшения расхода цемента, а и от рационального использова-

ния тех или иных добавок. Подтверждением этому является использование строительной смеси БИ-крепись [1] для формирования литых полос.

Ниже приведен пример алгоритма проектирования состава бетона с наиболее распространенной и применяемой добавкой, добавкой золы-уноса. При этом необходимо учесть, что при введении данной добавки увеличивается объем вяжущего в бетонной смеси и соответственно, должен увеличиться коэффициент раздвижки ( $K_p$ ) – отношение объема цементного теста к объему пустот заполнителя, и уменьшаться доля песка в смеси заполнителей ( $r$ ) [4].

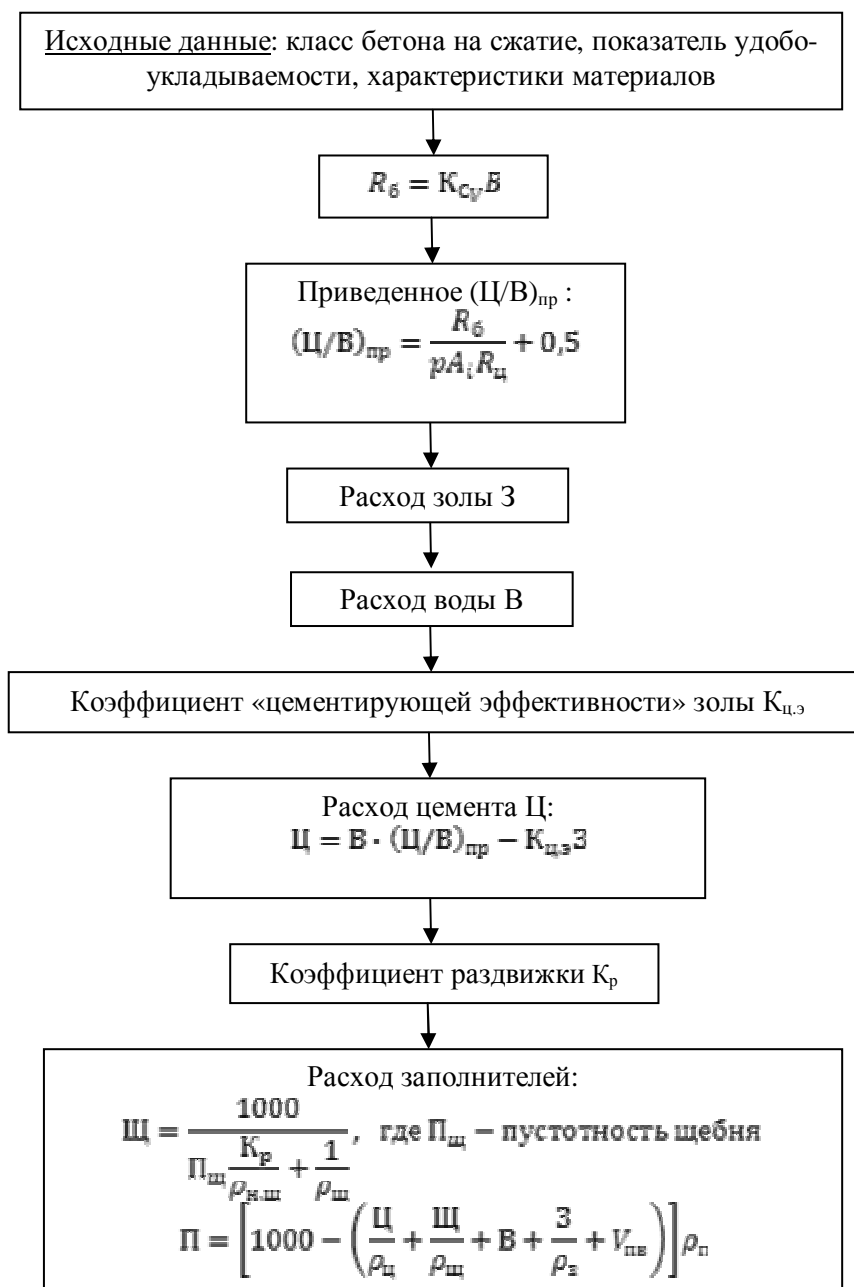


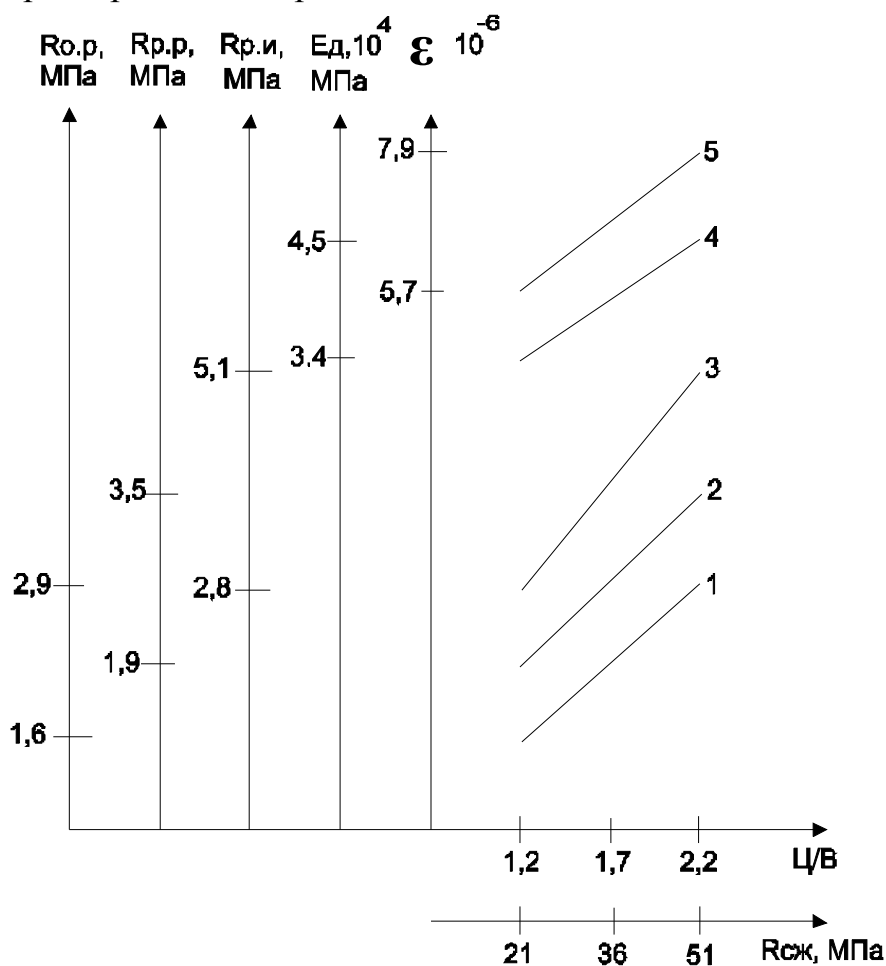
Рис. 1 – Алгоритм проектирования составов бетонов, содержащих золу-уноса.

$K_{CV}$  – коэффициент, который определяется коэффициентом вариации прочности (ГОСТ 18105-86).

Очевидно, что данный алгоритм применим для решения нашей задачи, однако возникает необходимость постановки экспериментов для определения некоторых эмпирических показателей.

В контексте данной статьи необходимо также указать на существование базовых закономерностей и расчетных зависимостей в проектировании составов бетонов. Основным из них можно назвать правило водоцементного отношения, о котором уже упоминалось выше. Следующими закономерностями расчетно-экспериментальных методов проектирования бетонов являются: правило постоянства водопотребности бетонной смеси, оптимального содержания песка в смеси заполнителей и правило постоянства коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя, обоснование и пределы применимости которых подробно рассмотрены в [3].

Самым надежным способом определения прочности бетона и некоторых других его свойств является построение графической зависимости  $R_0=f(C/V)$ , пример которой приведен на рис. 2. [3]



- R<sub>0.p</sub> – прочность при осевом растяжении (1);
- R<sub>p.p</sub> – прочность на растяжение при раскалывании (2);
- R<sub>p.и</sub> – прочность на растяжение при изгибе (3);
- E<sub>д</sub> – динамический модуль упругости (4);
- ε<sub>y</sub> – условная деформативность (5).

Рис. 2. – Значения свойств бетона в зависимости от Ц/В и R<sub>сж</sub>:

Помимо вышеуказанных закономерностей и графических способов для выбора оптимальных составов бетонной смеси часто используют номограммы [6]. На рис.3 и 4 приведены номограммы для определения цементно-водного отношения для бетона нормального твердения и определения водопотребности бетонной смеси.

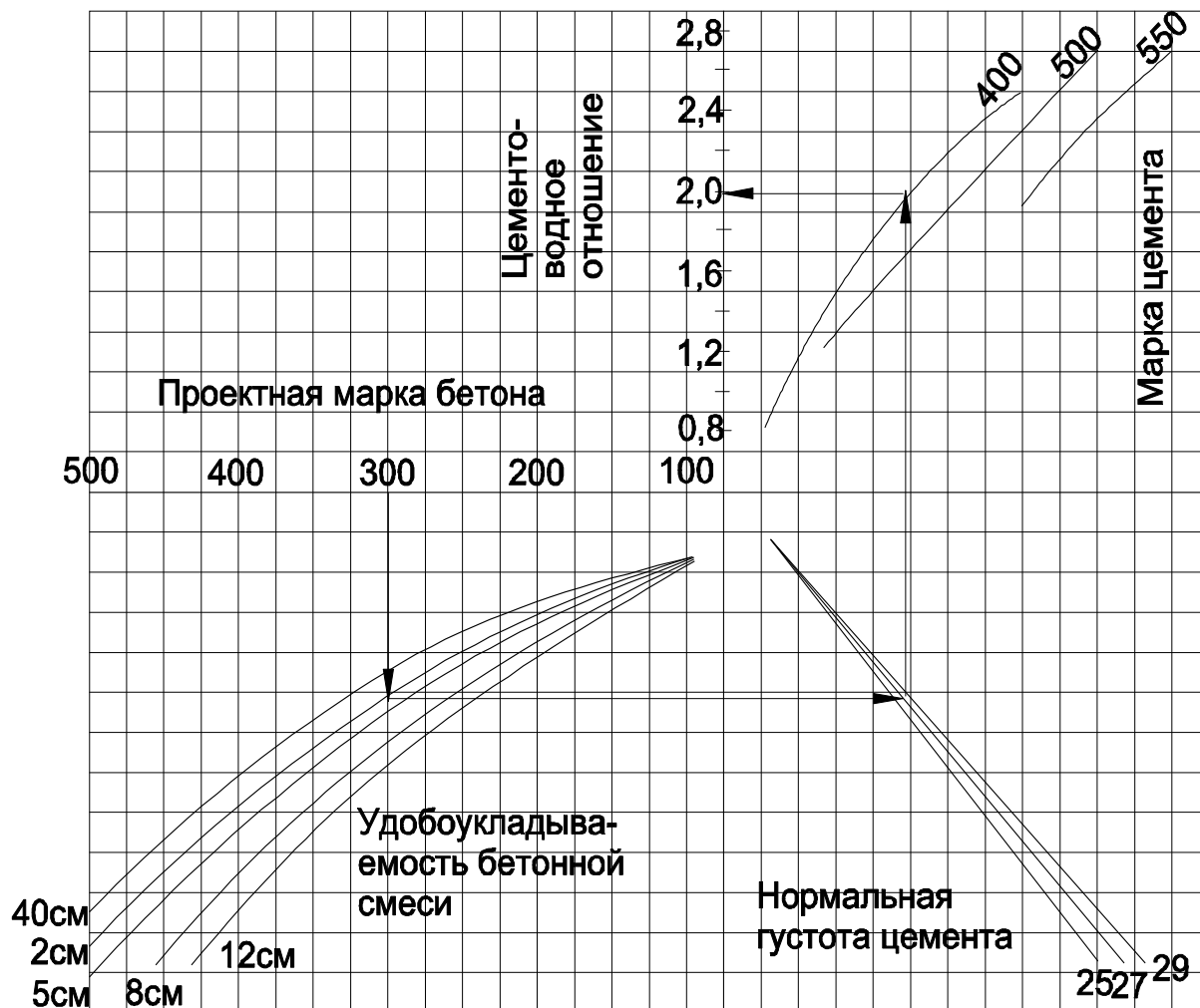


Рис. 3 – Номограмма определения цементно-водного отношения для бетона нормального твердения.

Заметим, что для построения аналогичных номограмм в нашем случае необходимо провести масштабные эксперименты.



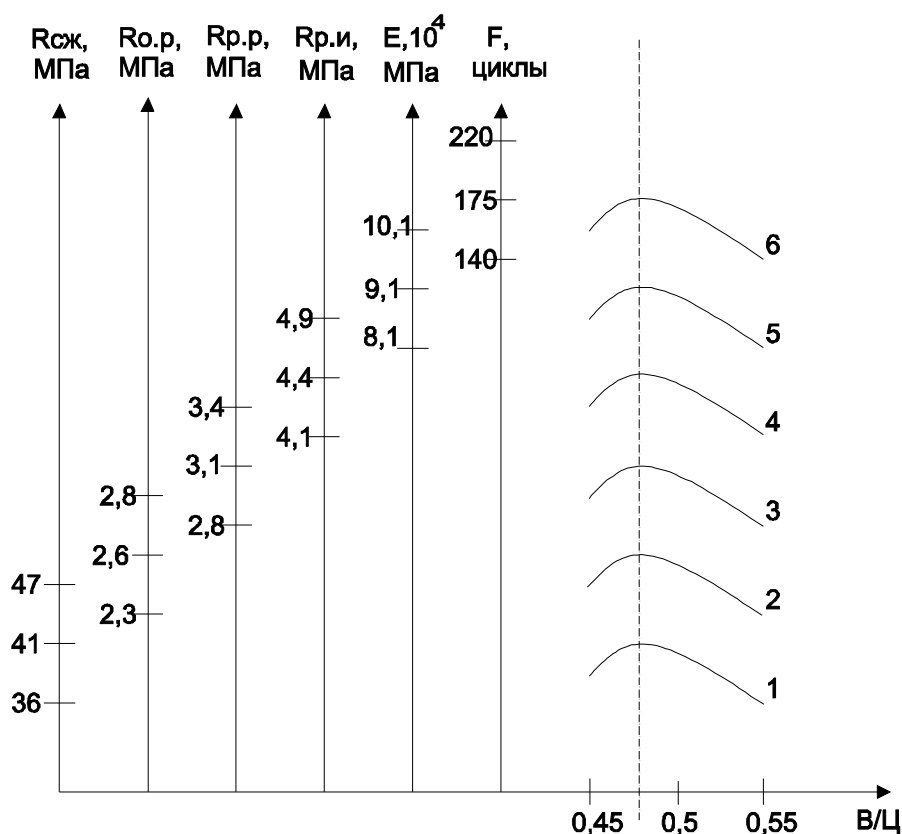
помощью графического метода были получены оптимальные свойства бетона, рекомендованные к применению.

Свое применение в выборе рецептуры составов нашел закон створа, согласно которому оптимальной структуре материала соответствует комплекс экстремумов его свойств [8]. Отклонение структуры от оптимальной всегда сопровождается ухудшением качества.

Что касается бетона, то формулировка закона створа по отношению к нему может носить несколько иной характер. При оптимальной структуре материала на одной прямой оказываются максимально (минимально) возможные при заданных условиях, но не обязательно экстремальные значения комплекса свойств. Это связано с тем, что например при изменении В\Ц отношения не всегда наблюдается экстремальность. К примеру, усадка бетона непрерывно уменьшается, т.е. имеет место прямая линия.

Закон створа можно назвать основным, лежащим в основе методов проектирования бетонных смесей и выборе оптимальных его составов.

На рис.5 приведен пример применения закона створа при проектировании бетонной смеси.



- R<sub>сж</sub> – прочность при сжатии (1);
- R<sub>о.р</sub> – прочность при осевом растяжении (2);
- R<sub>р.р</sub> – прочность на растяжение при раскалывании (3);
- R<sub>р.и</sub> – прочность на растяжение при изгибе (4);
- E – модуль упругости (5);
- F – морозостойкость бетона (6).

Рис. 5 – Пример створа возможных значений свойств бетона в зависимости от В/Ц.



Подытоживая, можно заключить, что с помощью метода математического моделирования довольно точно удается определить как свойства смесей, так и получить количественные зависимости для регулирования их состава, а также спланировать задачи экспериментальных исследований по оценке его влияния на задаваемые свойства твердеющих материалов.

В настоящее время отсутствует единый метод проектирования различных видов бетона в связи со стремительным развитием его технологии и многообразием применяемых цементов и добавок, видов их изготовления. В виду этого можно определить перспективу данной задачи, которая заключается в том, чтобы найти оптимальный метод выбора рецептуры состава бетонной смеси для горного производства, а именно для возведения литых околострековых полос.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байсаров Л. В., Ильяшов М. А., Демченко А. И. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок. – Донецк: Лира ЛТД, 2005. – 240с.
2. Файнер М. Ш. Ресурсосберегающая модификация бетона. – Черновцы: Издательство «Прут», 1995. – 152с.
3. Дворкин О. Л. Проектирование составов бетона (основы теории и методологии): монография: - Ровно: УДУВП, 2003.
4. Методичні рекомендації з проектування складів бетонів з добавками//Під ред. Дворкіна Л.Й., Дворкіна О.Л., Гарніцького Ю. В. – Рівне: НУВГП, 2006. – 42 с.
5. Гуна гін В. М., Савін Л. С., Хасанов Б. Б., Шишкін О. О. Фізико-аналітичний метод проектування складів бетону. – Дніпропетровськ: НВО «Захист», 1994, - 156с.
6. Проектирование составов бетона с применением математического моделирования: Учеб. Пособие / Л. И. Дворкин, И. Б. Шаман. – К.: УМКБО, 1992. – 144с.
7. А.В. Мишутин, Н. В. Мишутин. Повышение долговечности бетонов тонкостенных конструкций плавучих и портовых гидротехнических сооружений. – Одесса,. 2003.
8. Рыбьев И. А. Научные и практические аспекты закона створа // Строительные материалы, 1981. - №6. – с.23-25.