

ВЫВОДЫ

Оценка предложенных вариантов стабилизации с целью выбора варианта для рабочего проектирования, выполненная по методикам анализов «стоимость – эффективность» и «многофакторному анализу» показала, что наиболее выгодными вариантами является варианты:

№1 - «Дополнительное бетонирование опоры»;

№2 «Металлическая балочная клетка».

Принимая во внимание, что вариант №1 имеет наименьший показатель по коллективной дозе, а показатели полезности вариантов №1 и №2 близки, для рабочего проектирования предложен вариант №1 «Дополнительное бетонирование опоры».

Для предложенного варианта в составе детального проекта были разработаны рабочие чертежи, прошедшие экспертизу и утвержденные для реализации. Осуществление мероприятия намечено в 2005-2006гг.

Рассмотренный подход может быть реализован для определения оптимальных вариантов выполнения строительно-монтажных работ при ремонте, реконструкции или усилении конструкций различных объектов, особенно где существуют вредные факторы и ограничивающие условия. При этом критерии сравнения и факторы оптимизации могут изменяться в достаточно широком диапазоне.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Optimization and decision-making in radiological protection. A report of a task group of committee 4 of the international commission on radiological protection. – Pergamon press. – 1989. – 60 p.
2. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. Пин АЭ-5.6. – М.: Из-во Минатомэнерго СССР, 1986. – 21с.
3. НРБУ-97/Д200. Нормы радиационной безопасности Украины/ Министерство охраны здоровья Украины. 2000.
4. 6Э-ОУ. Инструкция по радиационной безопасности при проведении работ на объекте «Укрытие». Система качества ОУ/ Объект «Укрытие» ЧАЭС. 2001

УДК 666.972.16

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА ГЛУБИНУ ПЛАСТИФИКАЦИИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

*А.П. Приходько, к.т.н.; А.П. Никифоров, д.т.н., проф.; Пушкаренко О.А., асп;
Н.А. Матенчук инж.*

Проблема назначения составов бетона с комплексными модификаторами заключается в общем феноменологическом подходе к концентрации химических добавок.

Принимается, что данный модификатор имеет одно постоянное значение

относительно расхода цемента. Однако опыты показали, что оптимальное количество модификатора зависит от состава модификатора бетона, свойств его компонента и требуемых свойств бетонной смеси и бетона.

Цель работы: определить методику состава бетона с комплексными модификаторами с целью получения максимальной глубины пластификации бетонной смеси.

Экспериментально–теоретические исследования показали, что для этого может быть принят физико–аналитический метод проектирования состава бетона [1], учитывающий всю совокупность параметров свойств исходных материалов и бетона.

Для однозначного определения состава бетонной смеси необходимо решить четыре уравнения, характеризующие зависимости между расходами основных четырех компонентов бетона и составляющие систему основных уравнений состава бетона. Для расчета оптимального количества добавок дополнительно определяют условия, учитывающие влияние принимаемых добавок на свойства бетонной смеси и бетона.

Расчетный (номинальный) состав бетона задают перечислением расходов составляющих бетона (Ц (цемента), В (воды), МЗ (мелкого заполнителя), КЗ (крупного заполнителя – щебня или гравия), а также дополнительно МН (микронаполнителя) и П (пластификатора)) или в виде соотношения составляющих ($I : x : y$). При этом за единицу принимают расход цемента при заданном В/Ц.

Состав бетона определяет также технологические свойства бетонной смеси, которые учитываются в процессе формирования конструкции: удобоукладываемость, однородность, нерасслаиваемость [2].

Удобоукладываемость оценивают по величине осадки стандартного конуса подвижных смесей (ОК) или по времени растекания жестких смесей в стандартном вибровискозиметре (ж). Обе технологические характеристики удобоукладываемости ГОСТ 10181.1–81 характеризуют количество механической работы, затрачиваемое на продолжение сил внутренней взаимосвязи частиц бетонной смеси при ее деформации. Относительная характеристика удобоукладываемости – показатель жесткости бетонной смеси (G), который вычисляют по осадке конуса (ОК) или по жесткости смеси (Ж). В зависимости от величины Ж или ОК бетонные смеси подразделяются на марки по удобоукладываемости согласно ДСТУ БВ.2.7–96–2000 ”Смеси бетонные” (табл. 1).

Некоторые с особенности имеет проектирование составов бетона с использованием комплексных добавок.

При использовании добавок происходит изменение реологических характеристик бетонной смеси, в результате изменения водоцементного отношения теста нормальной густоты, а следовательно, изменение степени разжижения цементного теста. Поэтому, необходимо предварительно определить данные параметры на экспериментальных замесах с применением выбранных добавок.

При этом расчетное изменение степени разжижения цементного теста водой определяется по измененным данным его нормальной густоты.

Таблица 1
Марки бетонной смеси по удобоукладываемости

Марка	Норма легкоукладываемости по показателю	
	жесткости, с	подвижности, см
Ж 4	31 и более	–
Ж 3	21...30	–
Ж – 2	11...20	–
Ж – 1	5...10	–
П 1	1...4	4 и меньше
П 2	–	5 – 9
П 3	–	10 – 15
П 4	–	16 – 20
П 5	–	21 – 25

Применение микронаполнителей с целью повышения стойкости бетонных смесей целесообразно, если размер их частиц находится в пределах $10^{-5} \dots 10^{-3}$ см.

Оптимальное количество пластификатора определяется опытным путем для получения наибольшего пластифицирующего эффекта на цементном тесте с добавлением выбранного микронаполнителя, доля которого цементное тесто замешивается на водном растворе пластификатора минимальной концентрации, которая потом повышается до получения наибольшего пластифицирующего эффекта [3].

В цемент предварительно вводится микронаполнитель в количестве, близком к оптимальному, необходимом для обеспечения нерасслаиваемости бетонной смеси заданной консистенции. В каждом опыте определяется нормальная густота пластифицированного цементного теста с микронаполнителем. Максимальное количество микронаполнителя определяется по условию, что гранично пластифицированное цементное тесто, содержащее данное количество микронаполнителя, имеет вязкость, равную вибровязкости чистого цементного теста.

Для каждого выбранного количества пластификатора определяется нормальная густота цементного теста и строится график ее зависимости от количества пластификатора.

На основании опытных данных определяется оптимальное количество пластификатора, при котором не происходит нарушение структуры цементного теста, и соответствующее значение цементно-водного фактора пластифицированного цементного теста с микронаполнителем. При расчете эквивалентных составов бетонной смеси используется значение нормальной густоты цементного теста, соответствующее цементному тесту наименьшей вязкости.

Заданные свойства бетона определяют на основании проектных требований к бетону в изготовленной конструкции, а именно

- класс или марочная прочность бетона при сжатии (R_b);
- проектная морозостойкость бетона (F).

Может задаваться класс или марка бетона по прочности на осевое

растяжение.

Для оценки экономичности состава бетона содержатся данные о стоимости материалов (стоимость мелкого заполнителя (СМз), крупного заполнителя (СКз), цемента (Сц), воды (Св), микрозаполнителя (Смн), пластификатора (Сп).

Порядок расчета эквивалентных составов бетона физико-аналитическим методом (ФАМ).

Основными уравнениями ФАМ являются:

1. Уравнение Боломея:

$$R_{\sigma} = A \cdot R_{ц} \left(\frac{Ц}{B} - B \right) \quad (1)$$

2. Уравнение баланса объемов составляющих бетона:

$$\frac{Ц}{\rho_0} + B + \frac{Мз}{\rho_{Мз}} + \frac{Кз}{\rho_{Кз}} = 1000 \left(1 - \frac{V\bar{\sigma}}{100} \right), \quad (2)$$

$$\rho_0 = \rho_{ц} \cdot \left(1 - \frac{(B/Ц)_0}{2} \right), \quad (3)$$

$$\bar{V}\bar{\sigma} = 2,5 \cdot \rho \cdot G, \quad (4)$$

где $\bar{V}\bar{\sigma}$ – остаточная пористость бетона после его уплотнения;

$(B/Ц)_0$ – водо-цементное отношение цементного теста нормальной густоты;

ρ – коэффициент, зависящий от вида применяемых в бетоне добавок (для пластичных смесей ($G < 1,0$), без добавок $\rho = 1,0$; с пластифицирующими добавками $\rho = 1,5$; для жестких смесей $\rho \cong 1,6$).

Вместо остаточной пористости бетона допустимо использовать коэффициент уплотнения бетона.

В разработанной теории состава бетонной смеси и бетона как дисперсных многокомпонентных систем введена универсальная характеристика удобоукладываемости – относительная удобоукладываемость бетонных смесей. Этот реологический параметр применяется для смесей как пластичной, так и жесткой консистенции. В относительных единицах определяется по формулам:

для пластичных смесей:

$$G = 1 - \frac{OK}{OK_{np}}, \quad (5)$$

где OK_{np} – предельная осадка конуса бетонной смеси наибольшей подвижности (без расслаивания), равная 20 см.

$$G = \lg \left(\frac{Ж}{Ж_0} \right), \quad (6)$$

где $Ж_0$ – начальная жесткость бетонной смеси с консистенцией,

соответствующей цементному тесту нормальной густоты (при определении жесткости по ГОСТ 1018.1–81; $J_0 = 0,62$ с, при использовании технического квазиметра $J_0 = 2,5$ с.

Показатель жесткости бетонной смеси определяется по формуле:

$$G = ax + by - cz, \quad (7)$$

где a, b, c – параметры качества (квалиметры), соответственно, песка, щебня (гравия) и цемента;

x, y, z – количественные характеристики содержания, соответственно, мелкого и крупного заполнителя, а также цементного теста в бетоне. Параметры насыщения бетона заполнителями (x, y) представляют собой отношение количества твердой фазы (П или Ц(т) к объему жидкой среды, обеспечивающей их сдвиг при деформации (V_m – объем цементного теста или $V_p^{эф}$ – эффективный объем растворной части бетона).

Эквивалентные составы бетона рассчитываются в следующем порядке.

1. Определяется условная марка (R_b) бетона заданного класса, МПа

$$R_b = \frac{B}{1-t \cdot V}, \quad (8)$$

где B – класс бетона;

t – квантиль нормального распределения для данного уровня значимости;

α – (основные значения приведены в таблице 2).

2. Из уравнения (1) определяли цементно–водный фактор (Ц/В) и водоцементное отношение (В/Ц):

$$\text{Ц/В} = B + \frac{R_b}{A \cdot R_{ц}}, \quad (9)$$

$$\text{В/Ц} = \frac{1}{\text{Ц/В}}. \quad (10)$$

3. Определяем степень разжижения цементного теста водой (Z)

$$Z = \frac{1}{(B/Ц)_0} - \frac{1}{B/Ц}, \quad (11)$$

где $(B/Ц)_0$ – водоцементное отношение цементного теста нормальной густоты ($(B/Ц)_0 = \text{НГ}/100\%$).

4. По формуле (5) или (6) определяем показатель жесткости бетонной смеси.

5. Определяем показатель предельной жесткости бетонной смеси [G] и коэффициент подвижности (m):

$$[G] = G + CZ, \quad (12)$$

$$m = \frac{1}{1+G}. \quad (13)$$

6. Задаемся последовательно величинами песчано–цементного отношения (x) (допустимые значения x находятся в интервале от 0,5 до 4).

7. Определяем степень насыщения бетона мелким заполнителем

$$x = \frac{Mз}{V_m} = \frac{x}{\varphi_{ц}} \quad (14)$$

$$\varphi_n = \frac{1}{\rho_0} + \frac{B}{Ц}, \quad (15)$$

где x = Mз/Ц – песчано–цементное отношение;

$\varphi_{ц}$ – выход цементного теста из 1 кг вяжущего при заданном В/Ц, л/кг.

8. Определяем степень насыщения бетона крупным заполнителем:

$$Y = \frac{m \cdot Kз}{V_p^{\text{эф}}} = \frac{[G] - a \cdot x}{b}. \quad (16)$$

9. Определяем предельный насыпной объем крупного заполнителя в бетоне, м³.

$$V_0 = \frac{Kз}{Y_{кз}^0} = \frac{Y}{m + y}. \quad (17)$$

10. Определяем объем растворной части бетона:

$$V_p = 1000 \cdot \left[\left(1 - \frac{W_{\text{г}}}{100}\right) - \frac{V_0 \cdot \gamma_{Kз}^0}{\rho_{Kз}} \right] \quad (18)$$

или

$$V_p = 1000 \cdot K_y \cdot (1 - V_0 \cdot \gamma_{Kз}^0 / \rho_{Kз}). \quad (19)$$

11. Определяем выход раствора из единицы массы цемента, л/кг

$$\varphi_p = \varphi_{ц} + \frac{x}{\rho_{Mз}}. \quad (20)$$

12. Определяем расход цемента на 1 м³ бетона при заданном x, кг

$$Ц = \frac{V_p}{\varphi_p}. \quad (21)$$

13. Определяем расход воды на 1 м³ бетона, л

$$B = Ц \cdot \frac{B}{Ц}. \quad (22)$$

14. Определяем расход мелкого заполнителя на 1 м³ бетона, кг

$$Mз = Ц \cdot x. \quad (23)$$

15. Определяем расход крупного заполнителя на 1 м³ бетона, кг

$$Kз = V_0 \gamma_{Kз}. \quad (24)$$

16. Определяем расход микронаполнителя на 1 м³ бетона, кг

$$M_n = M_{n_{opt}} \cdot Ц / 100. \quad (25)$$

17. Определяем расход пластификатора на 1 м³ бетона, кг

$$П = \frac{П_{opt} \cdot Ц}{100}. \quad (26)$$

18. Определяем расчетную массу 1 м³ бетона, кг

$$M_b = Ц + M_z + K_z + B + M_n + П. \quad (27)$$

19. Определяем стоимость 1 м³ бетона, грн.

$$C_b = Ц \cdot C_c + M_z \cdot C_{mz} + K_z \cdot C_{kz} + B \cdot C_b + M_n \cdot C_{mn} + П \cdot C_n. \quad (28)$$

20. По результатам расчетов составляем таблицу эквивалентных составов бетона:

Т а б л и ц а 2.

Расчет эквивалентных составов бетона с комплексным модификатором

Квалиметры компонентов бетона

Квалиметр мелкого заполнения (а)	1,1
Квалиметр крупного заполнения (б)	0,6
Квалиметр цемента (с)	1,25

Результаты расчета

$R_b, \text{МПа} = 30$	$Ц/В = 1,99$
$G = 0,75$	$В/Ц = 0,50$
$Z = 2,67$	$P_{ЦО} = 2,697$
$[G] = 4,08$	$\varphi_{Ц} = 0,87$
$m = 0,57$	

$$НГ = 21,4 \%$$

x	X	Y	V ₀	V _p	φ _p	Ц	В	M _z	K _z	Пл	M _б
–	–	–	м ³	дм ³	дм ³ /кг	кг/м ³	кг/м ³	кг/м ³	кг/м ³	кг/м ³	кг/м ³
1,5	1,72	3,56	0,86	488	1,45	336	168	504	1290	20,1	2300
1,6	1,84	3,33	0,85	493	1,48	333	167	532	1275	1,99	2305
1,7	1,95	3,15	0,85	493	1,52	324	162	550	1275	1,95	2313
1,8	2,06	2,95	0,83	504	1,56	323	162	581	1245	1,93	2313
1,9	2,18	2,722	0,83	504	1,60	315	157	598	1245	1,85	2316
2,0	2,3	2,45	0,81	515	1,64	314	157	628	1215	1,88	2316
2,1	2,41	2,30	0,80	520	1,67	311	156	653	1200	1,86	2322
2,2	2,53	2,08	0,78	531	1,72	308	154	677	1095	1,84	2336
2,3	2,64	1,89	0,74	536	1,75	306	153	703	1155	1,83	2319
2,4	2,76	1,67	0,75	547	1,80	304	152	730	1125	1,82	2312
2,5	2,87	1,42	0,72	563	1,83	307	154	767	1080	1,84	2310
2,6	2,99	1,18	0,67	590	1,87	315	158	819	1005	1,85	2299

Положительный эффект глубины пластификации бетонной смеси в основном определяется изменением нормальной плотности цементного теста с заданным количеством пластификатора.

Нами рассчитана таблица расчетов эквивалентных составов бетона со следующими исходными данными:

Материалы для бетонной смеси:

песок $\gamma_n = 1,4 \text{ кг/дм}^3$; $\rho_n = 2,65 \text{ кг/м}^3$;

щебень $\gamma_{щ} = 1,5 \text{ кг/дм}^3$; $\rho_{щ} = 2,65 \text{ кг/м}^3$;

цемент $\rho_{ц} = 2,607 \text{ кг/дм}^3$; $R_{ц} = 300 \text{ МПа}$;

ОК = 5 см, квалитметры песка – 1,1, щебня – 0,6, цемента – 1,25.

Бетон М300, $K_u = 0,95$.

Параметры прочности $A = 0,58$, $B = 0,55$.

Минимальный расход цемента того же состава без комплексного модификатора составляет 324 кг на 1 м³ бетона, т.е. на 9,89% выше без добавочного бетона.

ВЫВОДЫ:

- наибольшую эффективность комплексного модификатора рекомендуется определить по "глубине пластификации", которую характеризует снижение водопотребности цементного теста;
- разработан метод проектирования состава бетона, учитывающий концентрацию комплексного модификатора;
- установлено снижение расхода цемента до % по сравнению с непластифицированным составом.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Пунагин В.Н. Основы проектирования составов бетона. – Ташкент: Узбекистан, 1983.- 198 с.
2. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини. – Київ, 2003.- 468 с.
3. Никифоров А.П. Тяжелые бетоны на шлакосодержащих вяжущих с комплексными модификаторами. – Днепропетровск: Пороги, 1996. – 231 с.
4. Сторк Ю. Теория состава бетонной смеси. – Л.: Стройиздат, 1972. – 218 с.
5. Рейнер М. Деформация, течение. Введение в реологию. –М.: Госстройтехиздат, 1975. – 416 с.

УДК 666.97.03

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*А.Н. Пишнько, д.т.н., профессор**, *Н.Н. Руденко, д.т.н., профессор***,

*В.В. Пунагин, к.т.н., доцент***, *Д.В. Руденко**, *Ю.В. Пунагина***,

*Н.И. Белошицкая***

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна; **Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск*

В современных условиях эксплуатации сооружений специального назначения бетонные и железобетонные конструкции подвергаются воздействию агрессивных сред, снижающих эксплуатационные