

P-28  
Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР

Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский институт  
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова

Министерство сельского хозяйства СССР  
Московский ордена Трудового Красного Знамени  
гидромелиоративный институт

**РУКОВОДСТВО**  
**ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО**  
**БЕТОНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ**  
**БЕТОНОУКЛАДОЧНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ**

Москва 1982

691  
123  
Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР

Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский институт  
гидротехники и мелиорации им. А.Н.Костякова

Министерство сельского хозяйства СССР

Московский ордена Трудового Красного Знамени  
гидромелиоративный институт

## РУКОВОДСТВО

по проектированию противофильтрационного бетона  
для строительства облицовок каналов  
бетоноукладочными комплексами

Москва 1982

"Руководство" составлено на основании результатов научно-исследовательских работ, проводимых ВНИИГМ, НИИЖБ, УкрНИИГМ, Союзоргтехводстроем, МГМИ, УкрНИИВХ. "Руководство" разработано в соответствии с координационным планом научно-исследовательских работ ВНИИГМ.

Теоретические разработки, излагаемые в "Руководстве", результат анализа существующих нормативных документов, литературных источников и производственного опыта их использования на строительстве монолитной бетонной облицовки магистрального канала Комсомольской оросительной системы, распределительных каналов Р-5, Р-5-1 Каховской оросительной системы.

"Руководство" разработано с целью оказания технической помощи проектным и производственным организациям, занимающимся проектированием и строительством монолитных бетонных (железобетонных) противофильтрационных тонкостенных сооружений гидромелиоративного назначения и может использоваться в качестве методического пособия в ВУЗУЗах.

В "Руководстве" рассмотрены два метода проектирования остова бетона - расчетно-экспериментальный и номографический.

"Руководство" одобрено и рекомендовано к печати секцией механизации Ученого совета ВНИИГМ (протокол № 23 от 19 декабря 1980 г., председатель секции - д.т.н., проф. Меламут Д.Л.).

Настоящее "Руководство" разработано ВНИИГМ Минводхоза СССР (Корнева Е.В.), МГМИ Минсельхоза СССР (к.т.н. Сняжков В.К., к.т.н. Никольский А.Ю.), УкрНИИВХ Минвуза УССР (к.т.н. Дворкин Л.И., Шамбан И.Б.)

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО БЕТОНА И ТРЕБОВАНИЯ К НЕМУ

1.1. Противофильтрационный бетон-разновидность гидротехнического бетона, используемого при строительстве тонкостенных бетонных или железобетонных противофильтрационных конструкций оросительных систем (облицовок магистральных и внутрихозяйственных каналов, лотковых каналов и т.п.).

1.2. Монолитные бетонные или железобетонные облицовки являются противофильтрационными экранами каналов, которые позволяют исключить или в значительной степени уменьшить фильтрационные потери воды из каналов, предотвратить деформацию дна канала, увеличить его пропускную способность за счет уменьшения шероховатости дна, предотвратить питание грунтовых вод и подъем их уровня, исключить заболачивание и вторичное засоление прилегающих земель, улучшить условия эксплуатации каналов и значительно увеличить долговечность сооружений.

1.3. Монолитные бетонные или железобетонные противофильтрационные облицовки устраивают по всей длине магистральных и распределительных каналов или на отдельных их участках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями - при больших потерях воды на фильтрацию в сильно фильтрующем земляном грунте (нескальные, крупнообломочные и песчаные грунты, скальные сильно-трещиноватые грунты); в зонах тектонических нарушений горных пород и их неблагоприятного залегания; в местах залегания загипсованных грунтов, на участках образования и развития карста и т.п.

1.4. Конструктивными особенностями противофильтрационных монолитных бетонных облицовок каналов оросительных систем являются их незначительная толщина, большая открытая поверхность и значительная протяженность, непрямолинейность поперечного сечения, деформируемое грунтовое основание.

В процессе эксплуатации облицовки подвергаются многократному попеременному увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию, воздействию различных агрессивных сред, температурным перепадам, что обуславливает повышенные требования к противофильтрационному

бетону по трещиностойкости, водонепроницаемости, морозостойкости, структурной плотности, водостойкости, прочности при растяжении, сжатии и ударной прочности.

1.5. Проектирование противофильтрационных монолитных облицовок каналов оросительных систем осуществляется в соответствии со СНиП П-52-74 "Сооружения мелиоративных систем", "Нормами проектирования", СНиП П-56-77 "Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений", "Руководством по проектированию магистральных и междолевых каналов оросительных систем", "Техническими указаниями по технологии строительства монолитных бетонных облицовок каналов глубиной 3-7 м" (НИИГЭМ, 1982) и другими нормативными документами, утвержденными Госстрем СССР и Минвостозом СССР.

1.6. При назначении проектной марки противофильтрационного бетона по прочностным показателям (пределу прочности на растяжение при изгибе, сжатие, осевое растяжение) необходимо учитывать влияние действующих нагрузок (с учетом волновых, ледовых и т.п.), климатических, геологических, гидрогеологических условий, заданных режимов эксплуатации, способов производства бетонных работ и других факторов.

Предел прочности на растяжение при изгибе является основным показателем, который определяет марку противофильтрационного бетона и указывается в проектах на основании расчета. Пределы прочности на сжатие и осевое растяжение являются дополнительными характеристиками и также указываются в проекте. Марка бетона по прочностным показателям определяется в зависимости от параметров и глубины наполнения воды в канале, изгибающего момента и толщины облицовки, согласно табл. 1 и 2 с учетом вышеперечисленных факторов.

Т а б л и ц а 1

Пропускная способность канала, м <sup>3</sup> /с	Толщина облицовки, м	Глубина канала, м
0...5	0,08...0,1	0,8...2,0
5...100	0,1...0,14	1,5...5,0
100...1000	0,14...0,2	5...15

Т а б л и ц а 2

Изгибающий момент, н.м.	Толщина облицовки, м	Рекомендуемые марки бетона,		
		на растяжение при изгибе	на сжатие	на осевое растяжение
1400	0,08	И 30	M200	P15
2200	0,1	И 30	M200	P15
3700	0,12	И 35	M250	P20
5000	0,14	И 35	M250	P20
7500	0,16	И 40	M300	P25
9500	0,18	И 40, и 45	M300, M350	P25, P30
12000	0,2	И 45, и 50	M350, M400	P30, P35

П р и м е ч а н и е. При определении толщины облицовки приняты расчетные сопротивления бетона неармированных облицовок для предельных состояний первой и второй групп.

Задаваясь минимально возможной толщиной облицовки при проектной глубине воды в канале (Н), определяем величину изгибающего момента. По нему уточняем толщину облицовки в пределах, устанавливаемых по табл. 1 и 2, после чего назначаем оптимальные прочностные марки бетона.

Предел прочности бетона при осевом растяжении ( $R_p$ ) можно ориентировочно установить по прочности при сжатии ( $R_{сж}$ )

$$R_p = (0,05 \dots 0,1) R_{сж}, \text{ кгс/см}^2, \quad (1)$$

а также по прочности на растяжение при изгибе ( $R_{р.и}$ )

$$R_p = 0,58 R_{р.и}. \quad (2)$$

Предел прочности на растяжение при изгибе можно определить из условия

$$R_{р.и} = 1,25 R_{пр}, \text{ кгс/см}^2, \quad (3)$$

где  $R_{пр} = 0,7 R_{сж}$  — призмочная прочность, кгс/см<sup>2</sup>

Прочность бетона при длительном действии нагрузки зависит от вида напряженного состояния бетонной облицовки и ориентировочно определяется из условий:

$$R_{сж}^{дл.} = 0,85R_{сж}; R_p^{дл.} = 0,85R_p; R_u^{дл.} = 0,85R_u; \quad (4)$$

$$R_{р.и}^{дл.} = 0,85R_{р.и}. \quad (5)$$

1.7. При расчете облицовки на температурно-влажностные воздействия следует учитывать:

- изменения температуры наружного воздуха и воды в канале;
- изменения температуры основания облицовки и его деформативность;
- влияние усадки и набухания бетона.

Расчет по образованию трещин в бетонной или железобетонной облицовке от температурных и влажностных воздействий следует выполнять по формуле (СНиП II-56-77)

$$K_H n_c G(t) \leq \epsilon_{пр}(t) E(t), \quad (6)$$

где  $G(t)$  - напряжения в бетоне в рассматриваемый момент времени с учетом ползучести;

$K_H$  - коэффициент надежности по СНиП II-50-74;

$n_c$  - коэффициент сочетания нагрузок по СНиП II-50-74;

$\epsilon_{пр}$  - предельная растяжимость бетона (по табл. 3);

$E(t)$  - модуль упругости бетона, МПа, в возрасте  $t$  сут, определяемый по формуле

$$E(t) = \frac{100000}{1,7 + \frac{360}{a \ln t}} \quad (7)$$

Здесь  $a$  - коэффициент (по табл. 3).

Таблица 3

Показатели	Значение показателей для марки бетона по сжатию		
	M200	M 250	M 300
Предельная растяжимость бетона $\epsilon_{пр} \cdot 10^{-4}$	0,70	0,80	0,90
Значение коэффициента $a$	28	34	40

1.8. Марки противифльтрационного бетона по водонепроницаемости для каналов глубиной до 3 м должны быть В2; В4; для каналов глубиной от 3 до 7 м - В6; В8, а для каналов глубиной от 6 до 10 м - В8; В10; В12. Для проектных марок бетона по водонепроницаемости коэффициент его фильтрации должен соответствовать значениям, указанным в табл.4.

Таблица 4

Марка бетона по водонепроницаемости	Величина коэффициента фильтрации $K_f$ ; мм/с, при испытании на образцах в состоянии	
	равновесной влажности	водонасыщения
В2	свыше $7 \cdot 10^{-8}$ до $2 \cdot 10^{-7}$	свыше $5 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-8}$
В4	свыше $2 \cdot 10^{-8}$ до $7 \cdot 10^{-8}$	свыше $1 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-9}$
В6	свыше $6 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-8}$	свыше $5 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-9}$
В8	свыше $1 \cdot 10^{-9}$ до $6 \cdot 10^{-9}$	свыше $1 \cdot 10^{-10}$ до $5 \cdot 10^{-10}$
В10	свыше $6 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-9}$	свыше $5 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}$
В12	$6 \cdot 10^{-10}$ и менее	$5 \cdot 10^{-11}$ и менее

Примечание. Коэффициент фильтрации ( $K_f$ ) определяется согласно ГОСТ 19426-74 на образцах в состоянии:

- равновесной влажности - для конструкций, работающих в условиях попеременного увлажнения и высыхания, а также в воздушно-влажностных условиях;

- водонасыщения - для конструкций, работающих постоянно в контакте с водой.

1.9. Марка противифльтрационного бетона по морозостойкости назначается проектами в зависимости от климатических условий района строительства, числа расчетных циклов попеременного замораживания и оттаивания в течение года (по данным долгосрочных наблюдений) и от условий эксплуатации канала в соответствии с требованиями ГОСТ 4795-68, ВТР-5-7-76. Расчетная температура наружного воздуха определяется согласно СНиП по строительной климатологии и геофизике (СНиП II-A; 6-72), а также по отдельным данным гидрометеорологической службы в районе строительства.

1.10. В зависимости от марки бетона по прочности на сжатие в 28-суточном возрасте ориентировочные показатели по водонепроницаемости и морозостойкости указаны в табл. 5. Приведенные данные

справедливы для бетонов на рядовом портландцементе и кондиционных заполнителях из плотных горных пород без введения специальных добавок — регуляторов свойств. При введении воздухововлекающих, кольматирующих и других добавок соотношение свойств бетона можно изменять в широком диапазоне.

Т а б л и ц а 5

Марка бетона по прочностным показателям		Морозостойкость (M <sub>ps</sub> )	Водонепроницаемость (В)
И (изгиб)	М (сжатие)		
30	200	50...100	2...4
35	250	75...150	2...4
40	300	100...150	4...6
45	350	150...200	6...8
50	400	200...250	8...12

I.11. При проектировании бетонных и железобетонных облицовок, предназначенных для условий эксплуатации в агрессивной водной среде, следует предусматривать в соответствии со СНиП П-28-73 бетон нормальной (Н), повышенной плотности (П) или особо плотный (О). Плотность бетона характеризуется коэффициентом фильтрации или соответствующей ему маркой по водонепроницаемости, а также косвенными показателями — водопоглощением и водоцементным отношением (табл.6).

Марку бетона по водонепроницаемости и показателю по водопоглощению бетона определяют по ГОСТ 12730.5-78 и 12730.3-78.

Т а б л и ц а 6

Плотность бетона	Показатели плотности		
	прямые	косвенные	
		марка по водонепроницаемости	водопоглощение, % по массе
Нормальная	В4	свыше 4,7 до 5,7	0,6
Повышенная	В6	свыше 4,2 до 4,7	0,55
Особо плотный бетон	В8	до 4,2	0,45

I.12. Марки противодиффузионного бетона по прочностным показателям; морозостойкости и водонепроницаемости указываются в рабочих чертежах в соответствии с требованиями нормативных документов. Марки по прочности и водонепроницаемости назначаются в 28-суточном или более позднем (90; 180 сут) возрасте в зависимости от сроков ввода сооружений в эксплуатацию и условий строительства. Марка бетона по морозостойкости назначается в 28 сут.

## 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ПРОТИВОДИФФУЗИОННОГО БЕТОНА

2.1. При проектировании состава бетонной смеси должны учитываться все факторы, влияющие на качество бетона в конструкции, с целью обеспечения надежности и долговечности работы монолитной бетонной или железобетонной облицовки канала как его противодиффузионной защиты.

Прежде чем приступать к проектированию состава бетонной смеси, необходимо знать:

- конструктивные размеры облицовки, место расположения проектируемого бетона в облицовке по отношению к водной среде;
- в какой водной и грунтовой среде будет работать бетон и возможные виды его коррозии;
- проектные марки по прочностным показателям бетона, водонепроницаемости и морозостойкости.

2.2. Проектирование состава противодиффузионного бетона состоит из:

- назначения требований к бетону и бетонной смеси, исходя из особенностей эксплуатации каналов и технологии производства бетонных работ;
- выбора материалов для бетона (цемента, добавок, заполнителей) и получения необходимых данных, характеризующих их свойства;
- определения предважительного состава бетона без добавок и с добавками и корректировки его на пробных замесах;
- контроля в процессе приготовления бетонной смеси и производства бетонных работ, проведения необходимой корректировки состава в процессе производства работ, вызываемой колебаниями свойств составляющих компонентов бетона и другими факторами.

2.3. Для обеспечения нормируемых технологических и технических свойств противодиффузионного бетона должны соблюдаться

требования, предусмотренные ГОСТ 4795-68; 4797-69\*, 4798-69; 4799-69, И8105-72, 473-61, главой СНиП П-28-73, Руководством по организации труда при производстве строительно-монтажных работ (Стройиздат, 1972), Руководством по производству бетонных работ (Стройиздат, 1975), Рекомендациями по повышению долговечности железобетонных конструкций быстроточных ирригационных каналов, Р-9-76 (НИИЖБ, 1976), Рекомендациями по применению химических добавок в бетоне (М.: Стройиздат, 1977), Техническими указаниями по технологии строительства монолитных бетонных облицовок каналов глубиной от 3 до 7 м (ВНИИГМ, 1982).

### 3. МАТЕРИАЛЫ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

3.1. Материалы, используемые для приготовления бетонной смеси противοфильтрационного бетона, должны соответствовать требованиям ГОСТ 4797-69\* "Бетон гидротехнический". Дополнительные требования к материалам указаны в настоящем руководстве.

3.2. Цементы должны соответствовать требованиям ГОСТ 10178-76 и 22266-76. При сульфатной агрессии применяются сульфатостойкие портландцементы в соответствии с ГОСТ 22266-76.

3.3. Марка цемента назначается в зависимости от требуемых прочностных показателей бетона облицовки: при марках бетона И30, М200 и И35, М250 принимается марка цемента 400, при марке бетона И40, М300-400 и 500, а при более высоких марках бетона - 500.

Для уточнения строительных характеристик цемента в лаборатории определяются: тонкость помола цемента, нормальная плотность и сроки схватывания цементного теста, равномерность изменения объема, активность цемента. Для повышения трещиностойкости, водонепроницаемости и надежности бетонной противοфильтрационной конструкции рекомендуется производить проверку применяемых цементов на величину линейных деформаций усадки и набухания. Деформация усадки бетона рабочего состава на применяемом цементе при температуре  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха 60% должна быть не более 0,3 мм/м в возрасте 28 сут и 0,7 мм/м - в возрасте 180 сут, а набухание 0,1 мм/м в возрасте 28 сут. и 0,3 мм/м в возрасте 180 сут.

Для уменьшения водопотребности бетонной смеси и предотвращения ее преждевременного схватывания рекомендуется применять цементы с нормальной плотностью не более 27%, началом схватывания цемента не ранее 1,5...2,0 ч.

3.4. Для противοфильтрационного бетона монолитной облицовки с целью повышения морозостойкости и долговечности применяют низко и среднеалюминатные портландцементы (с содержанием трехвалентного алюмината  $\text{C}_3\text{A}$  не более 8%), сульфатостойкие портландцементы с минеральными добавками и без них, а также пластифицированные и гидрофобные цементы. Выбор вяжущего проводится с учетом климатических условий района строительства, периода года, условий эксплуатации сооружений и т.д.

3.5. При агрессивном воздействии водной среды вид цемента выбирается по СНиП П-28-73\* в зависимости от показателей и степени агрессивности. Различают 4 степени агрессивного воздействия водной среды на бетон (табл.7).

Таблица 7

Степень воздействия	Результаты эксплуатации конструкции в течение года	
	снижение прочности в зоне коррозии, %	внешние признаки коррозии
Неагрессивная	0	-
Слабоагрессивная	менее 5	слабое поверхностное разрушение материалов
Среднеагрессивная	5...20	повреждение углов или волосные трещины
Сильноагрессивная	более 20	ярко выраженное разрушение материала (сильное растрескивание)

Оценку коррозионной стойкости цемента производят на растворе по ГОСТ 4789-69.

3.6. В качестве мелкого заполнителя следует применять кварцевый песок, отвечающий требованиям ГОСТ 10268-70; 8736-77; 4797-69\*. С целью снижения водопотребности бетонной смеси желательно применять крупные и среднезернистые пески с модулем крупности не менее 2,0.

3.7. Для лучшего воздухововлечения при применении воздухововлекающих добавок рекомендуется применение песков с преобладанием зерен размером от 0,63 до 1,25 мм. Полные остатки песка должны составлять: на сите 0,63 - 50...75%, а на сите 1,25 - 20...40%.

Фракционирование мелкого заполнителя следует производить для крупнозернистых песков с модулем крупности более 2,5 по граничному зерну 1,25 мм, а среднезернистых — по граничному зерну 0,63 мм.

Для обеспечения преобладающего содержания в смеси фракций зерен размером 1,25...0,63 мм соотношение между мелкой и крупной фракциями в зависимости от размера граничного зерна при фракционировании рекомендуется принимать в пределах, указанных в табл. 8, при этом содержание зерен крупнее 2,5 мм (полный остаток на сите 2,5 мм) во всех случаях должно быть не более 20...25%.

Таблица 8

Размер отверстий контрольных сит, мм	Полный остаток на ситах при разделении исходного песка по граничному зерну, % по массе	
	1,25 мм	0,63 мм
Крупная фракция		
5,0	-	-
2,5	20...50	9...40
1,25	100	50...70
0,63	-	100
Мелкая фракция		
0,63	30...50	-
0,315	50...80	40...60
0,14	85...95	85...95

Рекомендуется соотношение между мелкой и крупной фракцией по массе находить экспериментальным путем для получения смеси с непрерывной гранулометрией и минимальной пустотностью. Применение мелких и очень мелких песков без обогащения допускается при обеспечении заданных свойств бетона при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Содержание в песке глинистых и пылевидных частиц, определяемых отмучиванием, должно быть не более 1%, в том числе глинистых частиц — не более 0,5%. В песке не допускаются опал и другие аморфные видоизменения кремнезема.

3.8. В качестве крупного заполнителя могут применяться щебень, щебень из гравия и гравий из плотных пород, отвечающие требованиям ГОСТ 10268-70, 8267-75, 10260-74, 8268-74, 4797-69.

Для снижения водопотребности и повышения долговечности облицовки в крупном заполнителе содержание зерен слабых пород не должно быть более 5%, а игольчатых и лещадных зерен — 15%. Щебень и гравий должны поступать от поставщиков в промытом и фракционированном виде с содержанием пылевидных, илстых и глинистых частиц не более 0,5%. Показатель дробиности для крупного заполнителя должен быть не более  $D_r - 8$ .

3.9. Зерновой состав смеси крупных заполнителей рекомендуется подбирать экспериментально по наибольшей плотности (объемной насыпной массе).

Максимальную крупность крупного заполнителя следует принимать не более 1/3 толщины облицовки и во всех случаях не более 40 мм. Максимальная крупность зерен щебня и гравия выбирается с учетом размеров сечения облицовки и насыщенности ее арматурой в соответствии с указаниями СНиП III-13-76.

3.10. Количество фракций заполнителя необходимо определять согласно ГОСТ 4797-69\*. При наибольшей крупности заполнителя до 20 мм фракционирование производят на две фракции: 5...10 и 10...20 мм, а при наибольшей крупности до 40 мм — на три фракции: 5...10; 10...20 и 20...40 мм.

Соотношение между фракциями следует принимать в пределах, указанных в табл. 9.

Таблица 9

Наибольшая крупность зерен, мм	Соотношение, %		
	размеры фракций, мм		
	5...10	10...20	20...40
20	45...60	40...55	-
40	25...30	20...30	40...55

3.11. Применение гравийно-песчаной смеси или рядового щебня (гравия) допускается после переработки и разделения на фракции в соответствии с требованиями ГОСТ 10268-70. Не допускается применять крупный заполнитель, содержащий зерна глинистого сланца, легкоразмываемые при насыщении их водой и замораживания. Использование крупного заполнителя, не отвечающего требованиям стандартов, увеличивает расход цемента, ухудшает свойства бетона.



Увеличение крупности заполнителей снижает водопотребность бетонной смеси, что при неизменном расходе цемента благоприятно сказывается на прочности бетона. При замене щебня гравием прочность бетона понижается до 20%.

Гравий следует применять в противофильтрационном бетоне при И-30, М200 и И-35, М250. При марке бетона И-40, М300 и выше целесообразнее применять щебень.

3.12. До применения крупного заполнителя в бетоне должны быть проведены испытания по определению его морозостойкости в соответствии с ГОСТ 4797-69.

Пригодность крупного заполнителя для бетона с требуемыми проектными показателями устанавливается окончательно по результатам испытания бетона, приготовленного на этом заполнителе.

3.13. Для получения качественного противофильтрационного бетона при строительстве монолитных бетонных и железобетонных облицовок каналов следует применять подвижные бетонные смеси с осадкой конуса 4...12 см. Такую подвижность следует получать за счет обязательного применения пластифицирующих и воздухововлекающих добавок. Использование этих добавок позволяет: уменьшить расход цемента до 15%, а при сохранении подвижности бетонной смеси и расхода цемента увеличить прочность бетона на 10...20%, обеспечить бетону необходимую водостойкость при попеременном увлажнении и высыхании, трещиностойкость, морозостойкость за счет вовлечения и диспергирования воздуха; улучшить свойства бетонной смеси и структуру затвердевшего бетона.

3.14. В качестве добавок к бетону необходимо применять: воздухововлекающие добавки: СНВ (смола нейтрализованная воздухововлекающая) и СПЦ (синтетическая поверхностно-активная добавка) и др.;

- пластифицирующие добавки СДБ (сульфитно-дрожжевая бражка), ВРП-I (водорастворимый препарат), суперпластификатор С-3 и др.;

- пластифицирующе-воздухововлекающие М<sub>1</sub> (мылонафт), ГКЖ-10 (этилсиликонат натрия), ГКЖ-11 (метилсиликонат натрия), ПАЦ-I (пластификатор адипиновый) и др.;

- комплексные добавки СДБ + СНВ, СДБ + СПЦ, ПАЦ-I+СНВ, ПАЦ-I+СПЦ, ВРП-I+СНВ, ВРП-I+СПЦ и др.

3.15. Определение состава бетона с химическими добавками следует производить в два этапа. В начале определяется состав бетона без добавок, удовлетворяющий проектным и технологическим требованиям, а затем на его основе подбирается состав бетона с

химическими добавками, который должен удовлетворить тем же проектным и технологическим требованиям.

Назначение вида добавок и подбор состава противофильтрационного бетона с их использованием выполняется в соответствии с Руководством по применению химических добавок к бетону (М: Стройиздат, 1981), Рекомендациями по применению химических добавок в бетоне (М: Стройиздат, 1977), Руководством по применению химических добавок в бетоне (М: Стройиздат, 1981), Руководством по применению химических добавок в бетоне для гидротехнических сооружений в мелкородативном строительстве, ВТР-С-2-78 (Киев, 1979).

3.16. Для предотвращения возможного замедления скорости твердения бетона (особенно в раннем возрасте) при введении в бетонную смесь пластифицирующих и воздухововлекающих добавок рекомендуется дополнительно применять добавки ускорители твердения - нитрат кальция (НК) и нитрат-нитрат кальция (ННК). Эти добавки несколько увеличивают водонепроницаемость бетона.

3.17. Для приготовления бетонной смеси допускается применять обычную воду, отвечающую требованиям ГОСТ 23732-79, имеющую водородный показатель pH не менее 4 и не более 12,5.

#### 4. ТРЕБОВАНИЯ К БЕТОННОЙ СМЕСИ

4.1. Бетонная смесь должна быть технологичной и иметь подвижность, обеспечивающую ее доставку к объекту строительства в состоянии, позволяющем производить все операции по ее укладке на откос и дно канала без признаков расслоения и водоотделения.

К установленному сроку бетонная смесь должна обеспечить проектные марки по водонепроницаемости, морозостойкости и прочности бетона в облицовке.

Объем вовлеченного в бетонную смесь воздуха должен быть не более 5% по объему.

4.2. Величину необходимой подвижности бетонной смеси назначают по табл. 10 в зависимости от технологии укладки и вида уплотняющих механизмов.

Т а б л и ц а 10

Вид облицовки	Осадка конуса, см при уплотняющем органе	
	уплотняющий виброрупус	вибротруба
Бетонная	3...5	6...8
Железобетонная	4...6	7...9

4.3. Качество уплотнения бетонной смеси характеризуется коэффициентом уплотнения ( $K_y$ ), который должен быть в пределах 0,98...0,99. Коэффициент уплотнения характеризуется отношением фактической средней плотности бетона ( $\rho'_0$ ) свежесформованной конструкции к теоретической средней плотности бетона ( $\rho_0$ ) по формуле

$$K_y = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \quad (8)$$

Недоуплотнение смеси на 10% может снизить прочность более чем на 50% и увеличить коэффициент фильтрации в 3 и более раза.

## 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО БЕТОНА.

### 1. Расчетно-экспериментальный метод

5.1.1. Проектирование состава бетонной смеси можно производить расчетно-экспериментальными способами или по таблицам, графикам, номограммам.

5.1.2. Противофильтрационный бетон выполняет функцию противофильтрационного экрана в облицовке канала, работающего в весьма сложных условиях (п. 1.2, 1.3, 1.4, 1.6). При расчете водоцементного отношения необходимо принимать требуемый комплекс проектных показателей (прочность бетона при изгибе, прочность бетона при сжатии, плотность, морозостойкость и др.).

Из условия требуемой прочности при изгибе ( $R_{\delta.u}$ )

$$B/C = \frac{A_u \cdot R_{ц.и}}{R_{\delta.и} + 0,2A_u R_{ц.и}} \quad (9)$$

Из условия требуемой прочности при сжатии ( $R_{\sigma}$ )

$$B/C = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_{\sigma} + 0,5AR_{ц}} \quad (9')$$

где  $R_{ц.и}$  — предел прочности цемента при изгибе;  
 $R_{ц}$  — предел прочности цемента при сжатии (марка);  
 $A, A_u$  — коэффициенты, учитывающие качество материалов (табл. II).

Таблица II

Характеристика цемента и заполнителей	$A_u$	A
Высококачественные	0,42	0,65
Рядовые	0,4	0,6
Пониженного качества	0,37	0,55

Примечание. Высококачественные материалы: щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок оптимальной крупности и портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством активной минеральной добавки; заполнители чистые, промытые, фракционированные с оптимальным зерновым составом смеси фракции.

Рядовые материалы: заполнители среднего качества, в том числе гравий, портландцемент средней активности.

Материалы пониженного качества: крупные заполнители низкой прочности и мелкие пески, цементы низкой активности.

5.1.3. Из условия необходимой плотности, обеспечивающей требуемую водонепроницаемость и коррозионную стойкость В/Ц выбирается по табл. 6. Из условия необходимой морозостойкости ориентировочно величина В/Ц принимается по табл. I2.

Таблица I2

Марка бетона по морозостойкости ( $M_{\text{РЗ}}$ ), циклы	В/Ц не более
100	0,6
200	0,55
300	0,5
400	0,45
500	0,4

5.1.4. Из комплекса полученных значений В/Ц, обеспечивающих различные требования к бетону, для дальнейших расчетов принимается минимальное его значение.

5.1.5. Окончательно величину водоцементного отношения можно уточнить на основании экспериментального корректирования по п. 6.2.

5.1.6. Ориентировочная водопотребность бетонной смеси (расход воды) с учетом ее удобукладываемости (ОК) вида крупного заполнителя и его максимальной крупности, нормальной плотности цементного теста, модуля крупности песка принимается по табл. I3 и I4.

Таблица 13

Осадка конуса, см	Расход воды, л/м <sup>3</sup> при крупности гравия и щебня, мм							
	гравий				щебень			
	10	20	40	70	10	20	40	70
2...4	190	175	160	155	200	190	175	170
5...7	200	185	170	165	210	200	185	180
8...10	205	190	175	170	215	205	190	185
10...12	220	210	197	183	230	220	207	195

Примечание. Расход воды приведен для бетонной смеси при использовании портландцемента с нормальной плотностью цементного теста 26...28% и песка с  $M_{кр} = 2$ .

Таблица 14

Вид и качество применяемых материалов	Увеличение количества воды,	Уменьшение количества воды
Щебень из метаморфических и осадочных горных пород	4...5	-
Горный гравий	-	5...8
Речной и морской гравий	-	9...12
Песок при изменении модуля крупности на каждые 0,5 в меньшую или большую сторону	3...4	3...4
Щебень из изверженных пород, из камня с гладкой поверхностью излома	-	2...3
Песок с гладкой, хорошо окатанной поверхностью зерен	-	3...4
Цементное тесто при изменении нормальной плотности на каждый 1% (в большую или меньшую сторону от 28%)	3...4	3...4
Цемент при изменении расхода на каждые 10 кг сверх 350 кг/м <sup>3</sup>	I	-
Промытый щебень	-	6
Промытый песок	-	7
Бетонная смесь при изменении температуры свыше 20°, °C:		
5	-	5
10	-	4
15	-	2
25	3	-
30	7	-
35	II	-

При назначении расхода воды необходимо учесть водопотребность песка и крупного заполнителя из условия равноподвижности бетонной смеси в соответствии с Руководством по подбору состава тяжелого бетона (М.: Стройиздат, 1979).

Водопотребность бетонной смеси с учетом корректирующих факторов определяется по формуле

$$B = B_p + \sum_{\Delta} B_{\Delta}, \quad (10)$$

где  $B_p$  - расход воды принимается по табл. 13;

$\sum_{\Delta} B_{\Delta}$  - суммарная поправка воды, определяется по табл. 14.

При окончательном назначении расхода воды принимается во внимание требуемая морозостойкость: при  $M_{рз}$  100 расход воды должен быть не более 180 л/м<sup>3</sup>, при  $M_{рз}$  150...200 - 170, при  $M_{рз}$  300-165, а при  $M_{рз}$  более 300 - 160 л/м<sup>3</sup>. Для достижения требуемой водопотребности бетонной смеси следует предусматривать применение пластифицирующих добавок.

5.1.7. Расход цемента (Ц) на 1 м<sup>3</sup> бетона из условия обеспечения комплекса проектных требований при принятой ориентировочной водопотребности (В) бетонной смеси находится по формуле

$$Ц = \frac{B}{B/Ц} \quad \text{кг/м}^3. \quad (11)$$

Установленный расход цемента должен быть не менее минимального расхода, установленного в зависимости от марки бетона, подвижности бетонной смеси, вида и крупности заполнителя, активности цемента. Если расход меньше минимального, то принимается минимальный.

Минимальный расход цемента для бетонных облицовок каналов в зоне переменного уровня воды, подвергавшейся эпизодическому омыванию, в зоне капиллярного подсоса при уплотнении вибротрубом равен 240 кг/м<sup>3</sup>, вибротрубой - 265 кг/м<sup>3</sup>. Из условия нерасплаваемости подвижной бетонной смеси и получения прочного и плотного бетона минимальный расход цемента для бетона с максимальной крупностью заполнителя: при  $D_{max} = 10$  мм - 240 кг/м<sup>3</sup>,  $D_{max} = 20$  мм - 230 кг/м<sup>3</sup>,  $D_{max} = 40$  мм - 220 кг/м<sup>3</sup>.

Ориентировочный расход цемента приведен в табл. 15.

Таблица 15

Марка бетона	Осадка конуса, см (с доавками)	Вид крупного заполнителя ( $K_p$ )	Наибольшая крупность заполнителя, мм	Марка цемента	
				400	500
И30, М200	4...6	щоб.	20	280	245
	4...6	грав.	20	270	240
	4...6	щоб.	40	260	230
И35, М250	4...6	грав.	40	250	225
	4...6	щоб.	20	325	290
	4...6	грав.	20	320	285
И40, М300	4...6	щоб.	40	300	270
	4...6	грав.	40	295	265
	4...6	щоб.	20	375	355
	4...6	грав.	20	375	335
	4...6	щоб.	40	350	310
	4...6	грав.	40	350	310
	7...9	щоб.	20	390	350
	7...9	грав.	20	390	350
	7...9	щоб.	40	365	325
	7...9	грав.	40	365	325
	7...9	щоб.	20	430	380
	7...9	грав.	20	445	390
И45, М350	4...6	щоб.	40	400	350
	4...6	грав.	40	415	360
	7...9	щоб.	20	450	400
	7...9	грав.	20	465	410
	7...9	щоб.	40	415	370
	7...9	грав.	40	430	380

5.1.8. Расход заполнителей определяют исходя из условия, что сумма абсолютных объемов всех составляющих уплотненной бетонной смеси равна  $1 \text{ м}^3$  (1000 л)

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{B}{\rho_b} + \frac{P}{\rho_n} + \frac{K_p}{\rho_{kp}} = 1000 \text{ л}, \quad (12)$$

где  $C, B, P, K_p$  - соответственно расход цемента, воды, песка, крупного заполнителя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_c, \rho_b, \rho_n, \rho_{kp}$  - истинная плотность цемента, воды, песка, крупного заполнителя,  $\text{кг}/\text{л}$ .

Расход крупного заполнителя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , находят по формуле

$$K_p = \frac{1000}{\frac{v_n \alpha}{\rho_{kp}^0} + \frac{1}{\rho_{kp}}}, \quad (13)$$

где  $v_n$  - пустотность крупного заполнителя

$$v_n = 1 - \frac{\rho_{kp}^0}{\rho_{kp}}$$

$\alpha$  - коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя раствором (табл.16);

$\rho_{kp}^0$  - насыпная плотность крупного заполнителя;

$\rho_{kp}$  - истинная плотность крупного заполнителя.

Таблица 16

Расход цемента	В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,3	1,36	1,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,4	1,46	-	-	-

Примечание. При других значениях Ц и В/Ц они находятс я интерполяцией.

Расход песка ( $P$ ) на  $1 \text{ м}^3$  бетона составляет

$$P = \left[ 1000 - \left( \frac{C}{\rho_c} + B + \frac{K_p}{\rho_{kp}} \right) \right] \rho_n, \text{ кг.} \quad (14)$$

5.1.9. Расчетная (теоретическая) средняя плотность бетонной смеси на  $1 \text{ м}^3$  составляет:

$$\rho_{б.с}^T = B + C + P + K_p. \quad (15)$$

При точном определении средней плотности составляющих (цемента, песка и крупного заполнителя) фактическая средняя плотность бетонной смеси ( $\rho_{б.с}^F$ ) с учетом коэффициента уплотнения должна быть равна теоретической средней плотности.

Абсолютный объем материалов бетонной смеси составляет:

$$V_{д.с.} = B + \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{K_p}{\rho_{кр}} \quad \text{л.} \quad (16)$$

Фактический абсолютный объем материалов должен равняться 1000 л. Допускается отклонение в пределах  $\pm 1\%$ . При введении воздухововлекающих добавок учитывается дополнительно объем вовлеченного воздуха.

5.1.10. При подборе состава бетона с добавками необходимо соблюдать следующие основные требования:

- консистенция бетонной смеси с добавкой, оцениваемая по показателю ее подвижности, должна быть одинаковой с консистенцией бетонной смеси без добавок;

- В/Ц бетонной смеси с добавкой не должно быть больше В/Ц бетонной смеси без добавок; при введении пластифицирующе-воздухововлекающей добавки В/Ц бетонной смеси должно быть на 0,02...0,05 меньше, чем у бетонной смеси без добавки.

5.1.11. Определение состава бетона с пластифицирующей или пластифицирующе-воздухововлекающей добавками необходимо производить в следующей последовательности. Определяется величина расплыва конуса растворной части бетона без добавки при соответствующем В/Ц по ГОСТ 310-76 на встряхивающем столике. Путем подбора необходимого количества воды достигается такой же диаметр расплыва конуса раствора с добавкой, как у раствора без добавки, и определяется величина снижения водопотребности раствора.

Дозировки используемых добавок принимаются согласно табл. 17.

Оптимальной дозировкой пластифицирующих или пластифицирующе-воздухововлекающих добавок считается такое количество, при котором достигается максимальное снижение расходов воды и цемента при сохранении заданной подвижности бетонной смеси и прочности бетона.

5.1.12. В состав бетонной смеси без добавок или с оптимальной дозировкой пластифицирующей добавки вводят воздухововлекающую добавку в количествах, указанных в табл. 17. При этом расход воды уменьшают до достижения требуемой подвижности, а расход цемента сохраняют неизменным. Оптимальной дозировкой воздухововлекающей добавки считается такое количество ее, при котором обеспечивается воздуходержание, необходимое для обеспечения требуемых значений морозостойкости и прочностных показателей

при минимальном расходе цемента. Ориентировочно необходимое содержание вовлеченного эмульгированного воздуха можно найти по табл. 18, а требуемый расход воздухововлекающей добавки по номограмме (рис.1).

Таблица 17

Вид добав- ки	Пределы дозировок для бетонов нормальной твердения (% сухого вещества от массы цемента)						
	Наименование добавки	низкоалюминатные цементы при расходе цемента кг/м <sup>3</sup> бетона			среднеалюминатные цементы при расходе цемента кг/м <sup>3</sup> бетона		
		до 300	300...450	более 450	до 300	300...450	более 450
Пластифицирующая	СДБ	0,05...0,10	0,10...0,15	0,15...0,20	0,10...0,15	0,15...0,20	0,20...0,25
	ВРП-I	0,015...0,015	0,015...0,020	0,020...0,025	0,015...0,020	0,020...0,025	0,025...0,030
Воздухововлекающая	СНВ; СИЦ	0,005...0,015	0,01...0,02	0,015...0,035	0,005...0,015	0,010...0,020	0,015...0,035
	Пластифицирующе-воздухововлекающая	ГКМ-I0 <sup>4</sup>	0,10...0,15	0,15...0,20	0,20...0,25	0,10...0,15	0,15...0,20
ПАВ-I		0,10...0,25	0,15...0,35	0,35...0,80	0,10...0,25	0,15...0,35	0,35...0,80

Таблица 18

Бетон в возрасте 28 сут.		Объем эмульгированного воздуха, %
марка бетона по проч-ности	морозостойкость, цикл	
150	100	3,5...4,0
	150	4,0...4,5
	200	4,5...5,0
200	100	1,5...2,0
	150	2,5...3,0
	200	3,0...3,5
	300	4,0...4,5
250	200	2,0...2,5
	300	3,5...4,0
	400	4,5...5,0
300	200	1,5...2,0
	300	2,5...3,0
	400	3,5...4,0
350	300	3,0...3,5
	400	3,5...4,0
	500	5,0...5,5

Примечание. Соотношения справедливы при применении среднеалюминатного портландцемента  $C_3^A = 5-8\%$  и заполнителей, соответствующих требованиям ГОСТов.

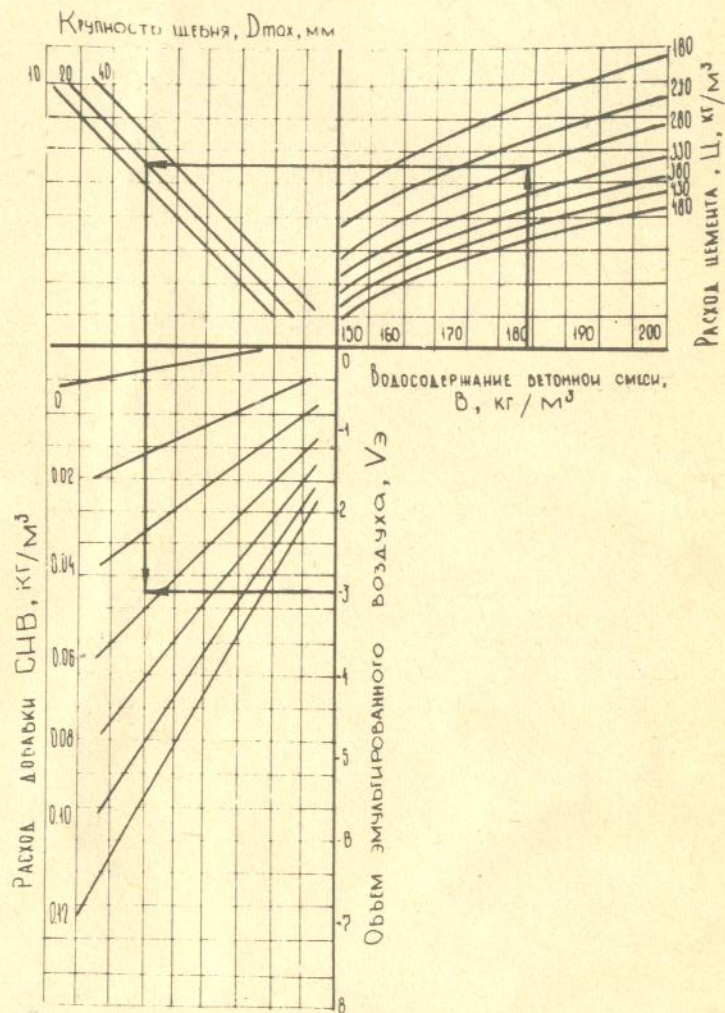


Рис. I. Номограмма определения содержания воздухововлекающей добавки в бетонной смеси

5.1.13. Определение состава бетона с комплексной добавкой, содержащей ускоритель твердения цемента необходимо производить следующим образом:

а) в цементное тесто нормальной плотности вместе с водой затворения вводится оптимальная дозировка пластифицирующей добавки, найденная по п. 5.1.11, или воздухововлекающей добавки по п. 5.1.12. Одновременно с названными добавками вводят ускоритель твердения.

Оптимальной дозировкой ускорителя твердения считается такое его количество, при котором обеспечивается достижение требуемых проектных показателей бетона в заданные сроки при минимальном расходе цемента.

Расход воды в составе бетонной смеси с комплексной добавкой при необходимости уменьшают до достижения требуемой подвижности, а расход цемента снижают или сохраняют неизменным. Из бетонной смеси с комплексной добавкой формируют образцы для определения прочностных показателей бетона, водонепроницаемости и морозостойкости.

5.1.14. При определении производственных составов учитывается влажность заполнителей, после чего корректируются их расходы, а также расход воды на  $1 м^3$  бетонной смеси по формулам:

$$\text{для песка} \quad П^{пр} = П + \frac{ПW_p}{100} \quad \text{кг}; \quad (17)$$

$$\text{крупного заполнителя} \quad K_p^{пр} = K_p + \frac{K_p \cdot W_{кр}}{100} \quad \text{кг}; \quad (18)$$

$$\text{воды} \quad B = B - \frac{ПW_p}{100} - \frac{K_p \cdot W_{кр}}{100} \quad \text{л}, \quad (19)$$

где  $W_p, W_{кр}$  - влажность песка и крупного заполнителя, %.

5.1.15. При проектировании состава бетона с учетом влияния эмульгированного воздуха ( $V_3$ ) можно применять следующее уравнение прочности бетона ( $R_{гг}$ )

$$R_{гг} = A \cdot R_{ц} \left( \frac{C}{B+V_3} - 0,5 \right) \quad \text{кгс/см}^2, \quad (20)$$

а также эмпирическое уравнение морозостойкости

$$M_{рз} = K(10^{F_k} - 1), \quad (21)$$

где  $F_k$  - структурный критерий морозостойкости

$$F_k = \frac{V_3 + V_k}{V_1}; \quad (22)$$

$V_3$  - объем эмульгированного воздуха;  
 $V_k$  - объем контракционных пор,  $\text{л/м}^3$  ( $V_k = 12 \frac{Ц}{\rho_{ц}}$ );  
 $V_L$  - объем льда в бетоне,  $\text{л/м}^3$ , при испытании морозостойкости по ГОСТ 10060-76 ( $V_L = B - 0,27Ц$ );  
 $K$  - коэффициент, учитывающий особенности применяемых материалов.

Значение коэффициента  $K$  зависит от вида заполнителя и алкинатности цемента: для щебня из плотных и морозостойких горных пород, например, гранита при  $C_3A < 6\%$   $K = 198$ ;  $C_3A = 6-9\%$   $K = 170$ .

Необходимый объем эмульгированного воздуха, при  $\rho_{ц} = 3100 \text{ кг/м}^3$

$$V_3 = Ц [(B/Ц - 0,27) \alpha - 0,0387], \quad (23)$$

где  $\alpha = f\left(\frac{M_{p3}}{K}\right)$  - параметр, определяемый графически (рис.2).

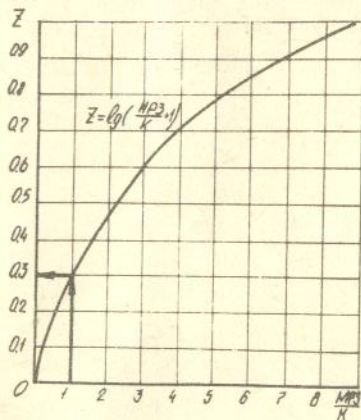


Рис.2. График зависимости параметра  $\alpha = f\left(\frac{M_{p3}}{K}\right)$

Порядок проектирования состава бетона в этом случае имеет следующую последовательность (метод УкрНИИВХ).

1. Находим выражение водо-воздушно-цементного отношения  $q$

$$q = \frac{B + V_3}{Ц} = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_{\sigma} + 0,5A \cdot R_{ц}} \quad (24)$$

2. Определяем воздушно-цементное отношение

$$\frac{V_3}{Ц} = \frac{\alpha (q - 0,27) - 0,0387}{1 + \alpha} \quad (25)$$

3. Находим водоцементное отношение

$$\frac{B}{Ц} = q - \frac{V_3}{Ц} \quad (26)$$

(если  $\frac{V_3}{Ц} \leq 0$ , необходимость в воздухововлекающей добавке отсутствует).

4. Находим расход воды

$$B = B_0 - mV_3 = B_0 \left(1 - m \frac{V_3/Ц}{B/Ц}\right), \quad (27)$$

где  $B_0$  - водопотребность бетонной смеси без воздухововлекающих добавок;

$m = 3-5$  для подвижных смесей.

5. Расход цемента

$$Ц = \frac{B}{B/Ц} \quad (28)$$

6. Объем эмульгированного воздуха

$$V_3 = Ц \frac{V_3/Ц}{Ц} \quad (29)$$

7. Расход воздухововлекающей добавки определяем по номограмме (рис.3).

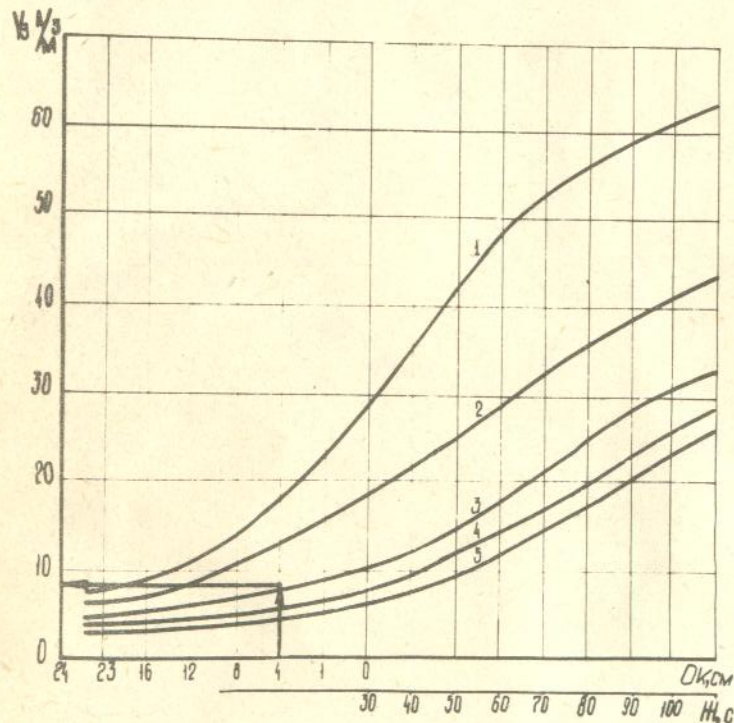


Рис.3. Зависимость объема эмульгированного воздуха от показателя подвижности и жесткости бетонной смеси. 1).  $D_{max} = 10 \text{ мм}$ , 2).  $D_{max} = 20 \text{ мм}$ , 3).  $D_{max} = 30 \text{ мм}$ , 4).  $D_{max} = 40 \text{ мм}$ , 5).  $D_{max} = 70 \text{ мм}$

8. Общее воздуходержание бетонной смеси

$$V_0 = V_2 + V_3 \quad \text{л/м}^3, \quad (30)$$

где  $V_3$  — объем заземленного воздуха, определяемый графически (рис.3) в зависимости от максимальной крупности заполнителя и подвижности бетонной смеси.

9. Расход щебня и песка, кг/м<sup>3</sup>, находим по формуле метода абсолютных объемов (п. 5.1.8) с учетом коэффициента раздвижки зерен или оптимальной доли песка в смеси заполнителей, определяемой по номограмме (рис.4) или по данным табл. 19.

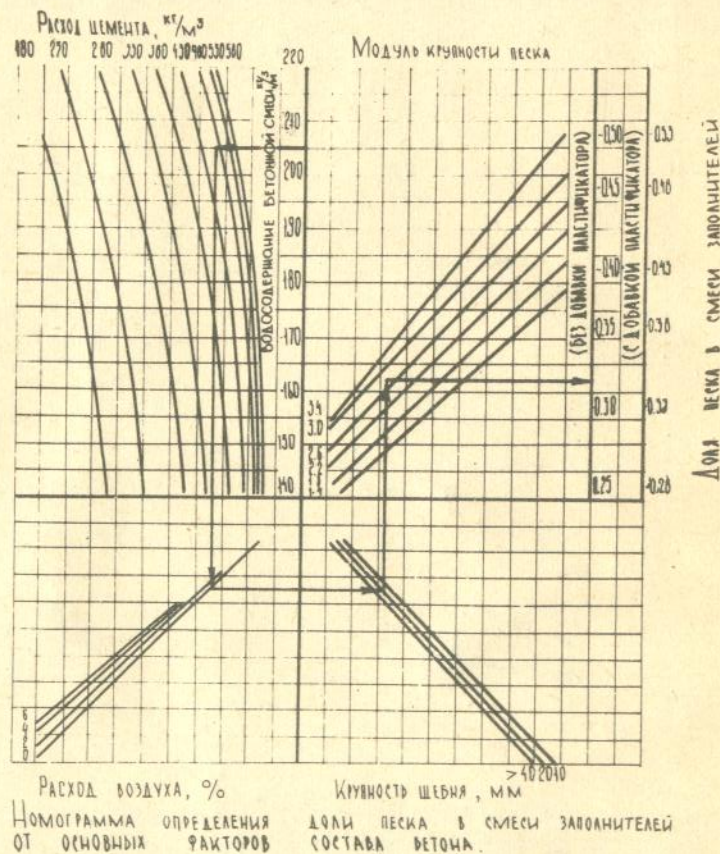


Рис. 4.

Таблица 19

Расход цемента, л/м <sup>3</sup>	Максимальная крупность зерен щебня, гравия, мм	Модуль крупности песка ( $M_{кр}$ )	Доля песка в смеси заполнителей при использовании, %	
			щебня	гравия
250	20	1,5...2,0	0,36	0,34
		2,0...2,5	0,37	0,35
	40	1,5...2,0	0,35	0,34
		2,0...2,5	0,36	0,35
300	20	1,5...2,0	0,35	0,33
		2,0...2,5	0,36	0,34
	40	1,5...2,0	0,34	0,33
		2,0...2,5	0,35	0,34
350	20	1,5...2,0	0,33	0,31
		2,0...2,5	0,34	0,32
	40	1,5...2,0	0,32	0,31
		2,0...2,5	0,33	0,32
400	20	1,5...2,0	0,31	0,29
		2,0...2,5	0,32	0,30
	40	1,5...2,0	0,30	0,29
		2,0...2,5	0,31	0,30

Примечание. Приведенные значения рекомендуются для бетонной смеси с подвижностью 4 см. При увеличении подвижности на каждые 2 см значение увеличивается на 0,01%.

2. Номографический метод

5.2.1. В качестве дополняющего метода расчета состава противодиффузионного бетона можно использовать номографический метод, предложенный УкрНИИВХ; этот метод позволяет определить ориентировочный состав бетонной смеси с помощью номограмм, полученных в результате решения многофакторных математических моделей.

5.2.2. При применении номографического метода УкрНИИВХ номограммы справедливы при использовании для изготовления бетонной смеси нормального среднеалюминатного портландцемента, гранитного щебня и кварцевого песка, удовлетворяющих требованиям ГОСТов.

Если в бетонную смесь не вводится воздухововлекающая добавка, то по табл. 5 с учетом требуемых проектных марок



по морозостойкости и водонепроницаемости, устанавливается необходимая проектная марка бетона по прочности. При известных значениях активности или марки цемента, его нормальной плотности, а также подвижности бетонной смеси по рис. 6 определяется необходимое значение цементно-водного отношения (Ц/В). Затем последовательно по рис. 5 и 4 устанавливаются водопотребность бетонной смеси (В) и доля песка в смеси заполнителей (%). Расход воды уточняется по табл. 14 в зависимости от особенностей применяемых материалов и корректируются по табл. 20 при введении пластифицирующей добавки СДБ. Значение водопотребности определяют по формуле:

$$V = V_0 K_1,$$

где  $V_0$  — значение водосодержания, определенное по рис. 5;  
 $K_1$  — поправочный коэффициент по табл. 20.

Таблица 20

Осадка конуса, см	Водоцементное отношение / цементно-водное отношение								
	0,55/1,8			0,45/2,2			0,4/2,6		
	содержание добавки СДБ, % от массы цемента								
	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
4...6	0,93	0,91	0,89	0,93	0,90	0,88	0,92	0,89	0,87
7...9	0,93	0,90	0,88	0,93	0,90	0,87	0,92	0,89	0,87
10...12	0,93	0,90	0,87	0,92	0,89	0,86	0,92	0,87	0,85

Далее, зная Ц/В (В/Ц), В и  $\mathcal{E}$  по формулам абсолютных объемов, определяется расход сухих компонентов на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси.

При применении воздухововлекающих добавок типа СНВ по табл. 18 предварительно устанавливается необходимый объем эмульгированного воздуха и по рис. 7 находят необходимое значение цементно-водного отношения (Ц/В). Расход песка и крупного заполнителя определяют по формулам:

$$P = \left( 1000 - \frac{V}{\rho_{\text{ц}}} - \frac{V}{\rho_{\text{г}}} - V_{\text{в}} \right) \rho_{\text{п}}; \quad (31)$$

$$K_{\text{р}} = \left( 1000 - \frac{V}{\rho_{\text{ц}}} - \frac{V}{\rho_{\text{г}}} - \frac{P}{\rho_{\text{п}}} - V_{\text{в}} \right) \rho_{\text{щ}}; \quad (32)$$

где  $V_{\text{в}}$  — объем воздуха, %.

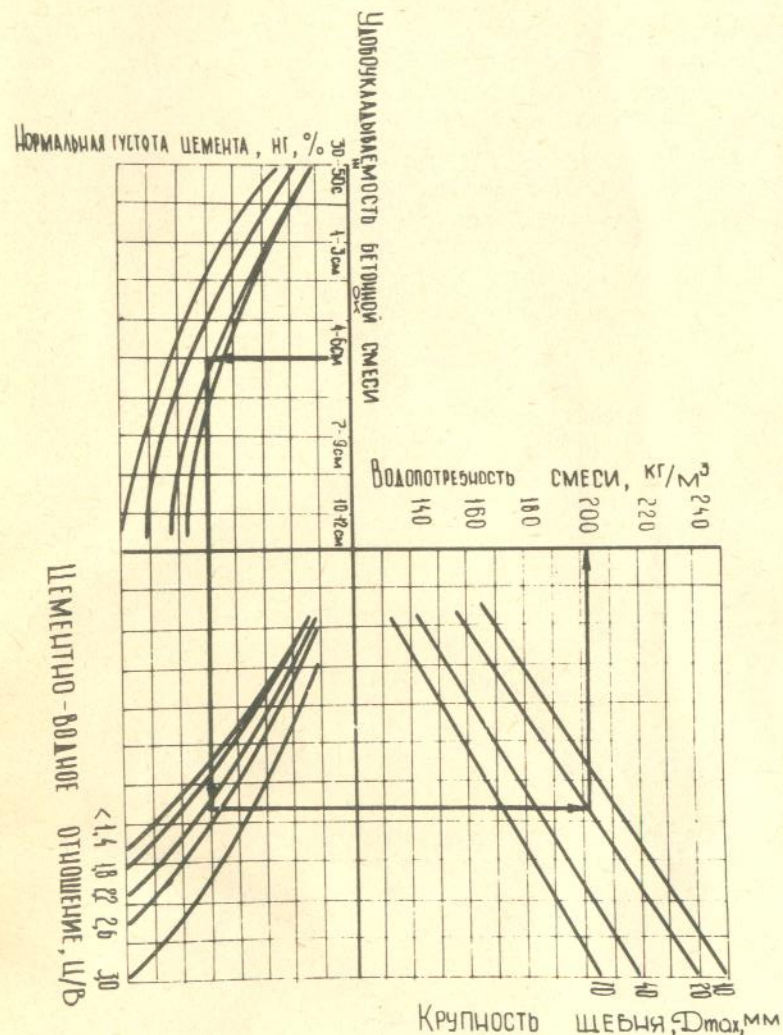


Рис. 5. Номограмма для определения водопотребности бетонной смеси

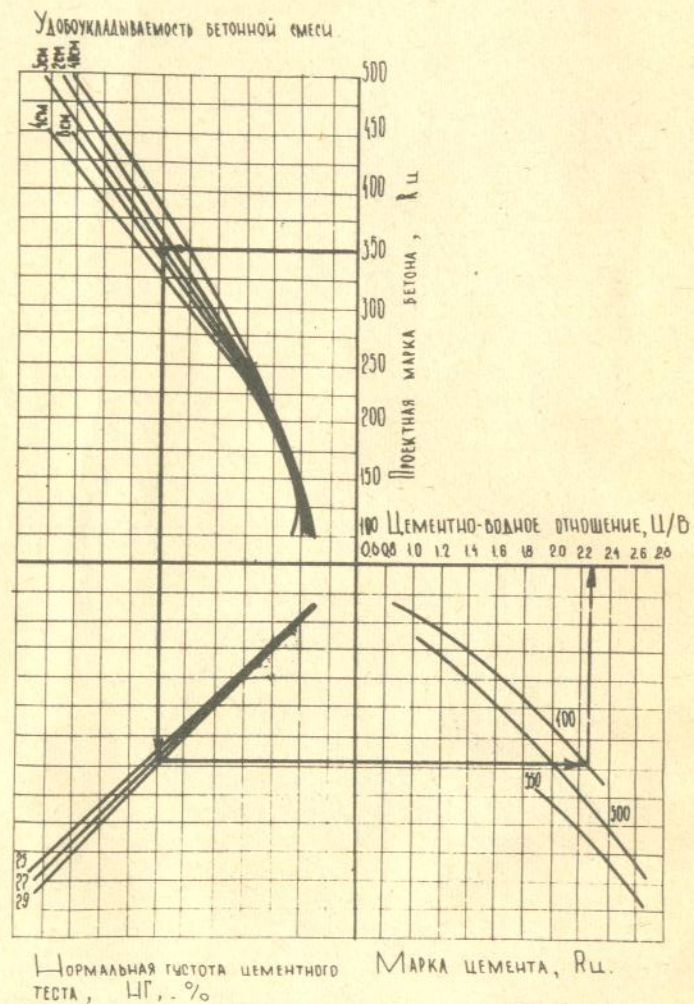


Рис.6. Номограмма определения Ц/В для бетонов 28 сут возраста (без воздухововлекающих добавок)

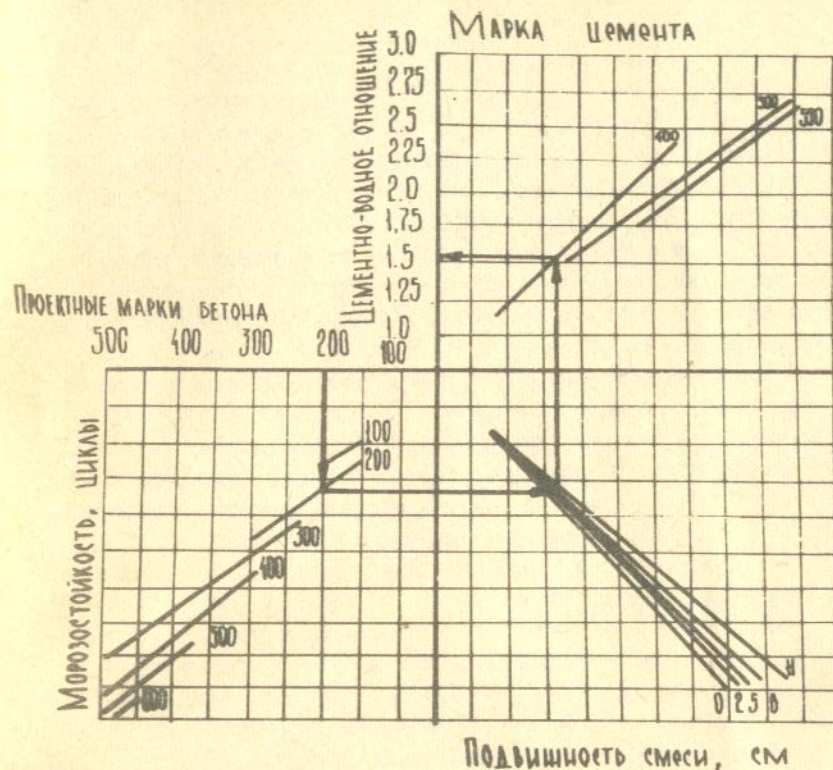


Рис.7. Номограмма определения Ц/В для бетонов с заданной морозостойкостью при оптимальном содержании эмульгированного воздуха

В конце расчета по рис. 1 устанавливает расход добавки типа СНВ, обеспечивающий необходимый объем эмульгированного воздуха.

Общее воздухововлечение равно  $V_6 = V_2 + V_3$ , где  $V_3$  - объем заземленного воздуха (рис.3).

## 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА И КОРРЕКТИРОВКА СОСТАВА БЕТОНА

6.1. Запроектированные составы бетонной смеси без добавок и с добавками по расчетно-экспериментальному и номографическому методам уточняют на пробных замесах и по результатам испытаний контрольных образцов - кубов, цилиндров.

На пробных замесах по подвижности бетонной смеси без добавок корректируют содержание воды, песка и крупного заполнителя, на контрольных образцах — водоцементное отношение (п. 5.1.5).

6.2. Корректировку содержания воды производят пробным затворением рассчитанного состава бетона и измерением осадки конуса. Если подвижность меньше требуемой, изменяют содержание цементного теста постепенным добавлением воды и цемента в соотношении, соответствующем принятому В/Ц. Если подвижность смеси превышает заданную, добавляют песок и щебень в соотношении, установленном расчетом. Когда требуемая подвижность смеси достигнута, рассчитывают новый состав бетона с учетом добавленных материалов и определяют расход составляющих на  $1 \text{ м}^3$  бетона.

6.3. Корректировку содержания песка и крупного заполнителя производят после уточнения состава смеси по подвижности. Для этого на основе откорректированного состава бетона готовят три замеса: 1) из бетонной смеси расчетного состава, 2) с уменьшением содержания песка приблизительно на 50 кг и с одновременным увеличением содержания крупного заполнителя на то же количество, 3) с увеличением содержания песка на 50 кг и соответственным уменьшением количества крупного заполнителя.

При разных плотностях крупного заполнителя и песка добавляют или убавляют песок и крупный заполнитель в равных абсолютных объемах (например, по 20–25 л). Измеряют подвижность полученных смесей и принимают тот состав, удобоукладываемость которого лучше. Если показатели удобоукладываемости близки между собой, выбирают состав с меньшим содержанием песка, как правило, обеспечивающий более высокую прочность бетона.

Если удобоукладываемость оптимального состава после корректировки будет значительно отличаться от заданной, состав вновь пересчитывают, увеличив или уменьшив содержание цементного теста, и затем опять проверяют на пробном замесе.

Когда состав откорректирован пробными затворениями и достигнута требуемая подвижность бетонной смеси, приступают к проверке прочности и других проектных свойств подобранного состава.

Образцы готовят из откорректированного по удобоукладываемости состава и одновременно из двух параллельных составов, в которых В/Ц принимают в одном случае больше, а в другом меньше на 0,05. Изменяя В/Ц, одновременно уменьшают или увеличивают расходы цемента и песка, сохраняя объемы раствора, расходы воды

и крупного заполнителя. Взаимную компенсацию объемов песка и цемента предпочтительнее производить по их абсолютным объемам. Их трех экспериментально установленных значений В/Ц, при которых удовлетворяется комплекс заданных технических свойств, выбирают наибольшее. По принятому составу без добавок окончательно корректируют состав бетона с добавками согласно пп. 5.1.10–5.1.13.

## 7. ПРИМЕРЫ ПОДБОРА СОСТАВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО БЕТОНА

### I. Расчетно-экспериментальный метод

Требуется подобрать состав противофильтрационного бетона монолитной облицовки проходящего в песчаных грунтах канала глубиной 5–6 м при расходе его более  $100 \text{ м}^3/\text{с}$ . Бетонная облицовка толщиной 14 см (табл.1) будет эксплуатироваться в умеренных климатических условиях. Агрессивная среда отсутствует. Бетонную смесь укладывают бетонукладчиком, имеющим уплотняющий орган-вибротрубку. Условия твердения естественные — нормальные.

Для проектирования состава бетона принимают следующие исходные данные:

марки бетона по прочностным показателям И35; М250 (табл.2); водопроницаемость В6; коэффициент фильтрации  $K_{\text{ф}} = 6 \times 10^{-10} \text{ см/с}$  (табл.4); морозостойкость  $M_{\text{рз}} = 100$  (табл.5); ОК = 6...8 см (пп. 3.13; 4.2). Исходные характеристики материалов следующие:

Цемент	Песок	Крупный заполнитель
Среднеалюминатный портландцемент	Кварцевый	Гранитный щебень
$\rho_{\text{ц}} = 3,1 \text{ кг/л}$	$\rho_{\text{п}} = 2,62 \text{ кг/л}$	$\rho_{\text{щ}} = 2,7 \text{ кг/л}$
$n_{\text{г}} = 27\%$	$\rho_{\text{о}}^{\text{н}} = 1,58 \text{ кг/л}$	$\rho_{\text{о}}^{\text{щ}} = 1,45 \text{ кг/л}$
$R_{\text{ц}} = 400$	$M_{\text{кр}} = 2,6$	$d_{\text{max}} = 40 \text{ мм}$
$R_{\text{цм}} = 55$		
Цемент отвечает требованиям ГОСТ	Песок отвечает требованиям ГОСТ	Щебень отвечает требованиям ГОСТ

### Порядок расчета

I. Из условия обеспечения требуемой прочности бетона при изгибе определяем В/Ц по формуле (9)

$$\left(\frac{B}{C}\right)_1 = \frac{A \cdot R_{ц.у}}{R_{д.у} + 0,2AR_{ц.у}} = \frac{0,4 \cdot 55}{35 + 0,2 \cdot 0,4 \cdot 55} = 0,56.$$

Из условия обеспечения требуемой прочности при сжатии

$$\left(\frac{B}{C}\right)_2 = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_{д} + 0,5AR_{ц}} = \frac{0,6 \cdot 400}{250 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 400} = 0,65.$$

В соответствии с пп. 5.1.3; 5.1.4; 5.1.8 принимаем по табл. 6

$$\frac{B}{C} = 0,55.$$

2. Расход воды (водопотребность) на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси по п. 5.1.8 с учетом табл. I4 и корректирующих факторов составит по формуле (I0)

$$B = B_p + \sum \Delta B = 185 - 3 = 182 \text{ л.}$$

3. Расход цемента (предварительно) составит

$$C = \frac{B}{B/C} = \frac{182}{0,55} = 331 \text{ кг.}$$

4. Абсолютный объем цементного теста в  $1 \text{ м}^3$  бетонной уплотненной смеси равен:

$$V_{ц.т} = B + \frac{C}{R_{ц}} = 182 + \frac{331}{3,1} = 289 \text{ л.}$$

5. Расход щебня на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси составит

$$Щ = \frac{R_{н.щ} \cdot V_{д.с}}{1 + V_{пук.щ}(\alpha - 1)} = \frac{1,45 \cdot 1000}{1 + 0,463(1,41 - 1)} = 1219 \text{ кг.}$$

$$V_{пук.щ} = 1 - \frac{R_{н.щ}}{R_{щ}} = 1 - \frac{1,45}{2,7} = 0,463.$$

6. Расход песка на  $1 \text{ м}^3$  бетона составляет

$$П = \left(V_3 - \frac{Щ}{R_{щ}}\right) \cdot R_{п} = \left(1 - \frac{1215}{2,7}\right) 2,65 = 688 \text{ кг,}$$

где  $V_3$  - объем заполнителей ( $1000 - 289 = 711 \text{ л}$ ).

Расчетная объемная масса бетонной смеси будет:

$$\rho_{д.с} = 182 + 331 + 688 + 1219 = 2420 \text{ кг/м}^3.$$

Абсолютный объем материалов в уплотненной бетонной смеси составит:

$$V_{д.с} = B + \frac{C}{R_{ц}} + \frac{П}{R_{п}} + \frac{Щ}{R_{щ}} = 182 + 107 + \frac{688}{2,62} + \frac{1219}{2,7} = 1000 \text{ л.}$$

В соответствии с п. 6.1 уточняют расходы воды, цемента, заполнителей с целью получения необходимой подвижности. Уточнение В/Ц производят по п. 6.3.

## 2. Номографический и расчетно-экспериментальный метод УКРНИИВХ

Необходимо определить состав бетона монолитной облицовки канала с расходом воды выше  $50 \text{ м}^3/\text{с}$ . Толщина облицовки составляет  $10 \text{ см}$ ; марки бетона: М300, Мрз 200, В-4; ОК = 4-6 см.

По табл. 5 устанавливаем, что требуемая марка по морозостойкости без применения добавок ПАВ может быть обеспечена только при прочности бетона на сжатие не менее  $35 \text{ МПа}$ . При применении воздухововлаживающей добавки СНВ бетон М300, Мрз 200 и В-4 обеспечиваются при объеме эмульгированного воздуха  $2,0\%$  (табл. I8).

Исходные материалы: портландцемент среднеалюминатный марки 400,  $ПГ = 27\%$   $R_{ц} = 3,1 \text{ кг/л}$ ; песок кварцевый,  $Мк = 2,8$ ,  $R_{п} = 2,6 \text{ кг/л}$  щебень гранитный фракции 5-20 мм;  $R_{щ} = 2,6 \text{ кг/л}$ .

Состав бетона без применения добавок ПАВ с помощью номографического метода находим следующим образом. По номограмме (рис. 6) для бетона М 350 при осадке конуса 4-6 см, марке цемента 400 с  $ПГ = 27\%$  необходимо  $C/B = 2,3$ . Водопотребность бетонной смеси (рис. 5) для щебня с максимальной крупностью 20 мм равна  $205 \text{ кг/м}^3$ . Расход цемента составит

$$C = B \cdot \frac{C}{B} = 205 \cdot 2,3 = 472, \text{ кг/м}^3.$$

По номограмме (рис. 4) находим оптимальную долю песка в смеси заполнителей, для песка с  $Мк = 2,8$ ,  $\alpha = 0,34$ .

Определяем расход песка и щебня:

$$П = \left(1000 - \frac{472}{3,1} - 205\right) 0,34 \cdot 2,6 = 568 \text{ кг/м}^3;$$

$$K_p = \left(1000 - \frac{472}{3,1} - \frac{568}{2,6} - 205\right) \cdot 2,6 = 1105 \text{ кг/м}^3.$$

В случае применения добавки СНВ состав бетона находим следующим образом. По номограмме (рис.7) находим Ц/В = 1,90. Водопоглощение находим на рис. 5 и корректируем с учетом оптимального объема воздуха, В = 184 кг/м<sup>3</sup>. Расход цемента составляет

$$Ц = В \frac{Ц}{В} = 184 \cdot 1,9 = 350 \text{ кг/м}^3.$$

По номограмме (рис.4) определяем долю песка и смеси заполнителей  $\varepsilon = 0,35$ . Общее воздуходоержание  $V_0 = 20 + 10 = 30 \text{ л/м}^3$ , где 10 л/м<sup>3</sup> - объем заземленного воздуха (см.рис.3).

Расходы песка и щебня равны

$$П = \left(1000 - \frac{350}{3,1} - 30 - 184\right) \cdot 0,35 \cdot 2,6 = 612 \text{ кг/м}^3;$$

$$K_p = \left(1000 - \frac{350}{3,1} - \frac{612}{2,6} - 30 - 184\right) \cdot 2,6 = 1138 \text{ кг/м}^3.$$

Состав бетона с помощью расчетно-экспериментального метода по п. 5.17 при применении воздухововлекающей добавки находим следующим образом. Определяем водо-воздушно-цементное отношение  $q$

$$q = \frac{0,6 \cdot 400}{300 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 400} = 0,57.$$

Применяя гранитный щебень и среднеалюминатный портландцемент находим отношение

$$\frac{M_{pa}}{K} = \frac{200}{170} = 1,1 \text{ и параметр } \alpha = 0,3 \text{ (см.рис.2).}$$

Тогда воздушно-цементное отношение равно

$$\frac{V_a}{Ц} = \frac{0,3(0,57 - 0,27) - 0,0387}{1 + 0,3} = 0,04$$

Водоцементное отношение составит

$$\frac{В}{Ц} = 0,57 - 0,04 = 0,53$$

Находим расход воды

$$В = 194 - \left(1 - 0,3 \frac{0,1}{0,53}\right) = 182 \text{ кг/м}^3,$$

$$\text{расход цемента } Ц = \frac{182}{0,53} = 343 \text{ кг/м}^3,$$

объем эмульсированного воздуха

$$V_a = 343 \times 0,04 = 13,72 \text{ л/м}^3,$$

общее воздуходоержание бетонной смеси

$$V_0 = 13,72 + 10 = 23,72 \text{ л/м}^3.$$

Расход щебня и песка методом абсолютных объемов

$$П = 621 \text{ кг/м}^3; \quad Ш = 1217 \text{ кг/м}^3.$$

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Назначение противофильтрационного бетона и требования к нему .....	3
2. Общие принципы проектирования состава противофильтрационного бетона .....	9
3. Материалы и требования к ним .....	10
4. Требования к бетонной смеси .....	15
5. Проектирование состава противофильтрационного бетона .....	16
1. Расчетно-экспериментальный метод .....	16
2. Номографический метод .....	29
6. Экспериментальная проверка и корректировка состава бетона .....	33
7. Примеры подбора состава противофильтрационного бетона .....	35
1. Расчетно-экспериментальный метод .....	35
2. Номографический и расчетно-экспериментальный метод .....	37

Редактор Я.С.Родин  
Технический редактор Т.А.Кузнецова  
Корректор Г.О.Лосева

---

Подп.к печ.20.07.1982. Л-76036, формат 60x84/16. Бумага офс. № 2.  
Печать офсетная. Объем 2,5 усл.печ.л., 2,1 уч.-изд.л.  
Тираж 300. Заказ 499. Бесплатно

---

127550, Москва, Б.Академическая,44, ВНИИГиМ им.А.Н. Костякова  
Ротапринт ВНИИГиМ, 141800, Дмитров, Моск. обл., 2-я Левонабережная, 12