

## ЛЕКЦИЯ 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВОВ БЕТОНОВ.

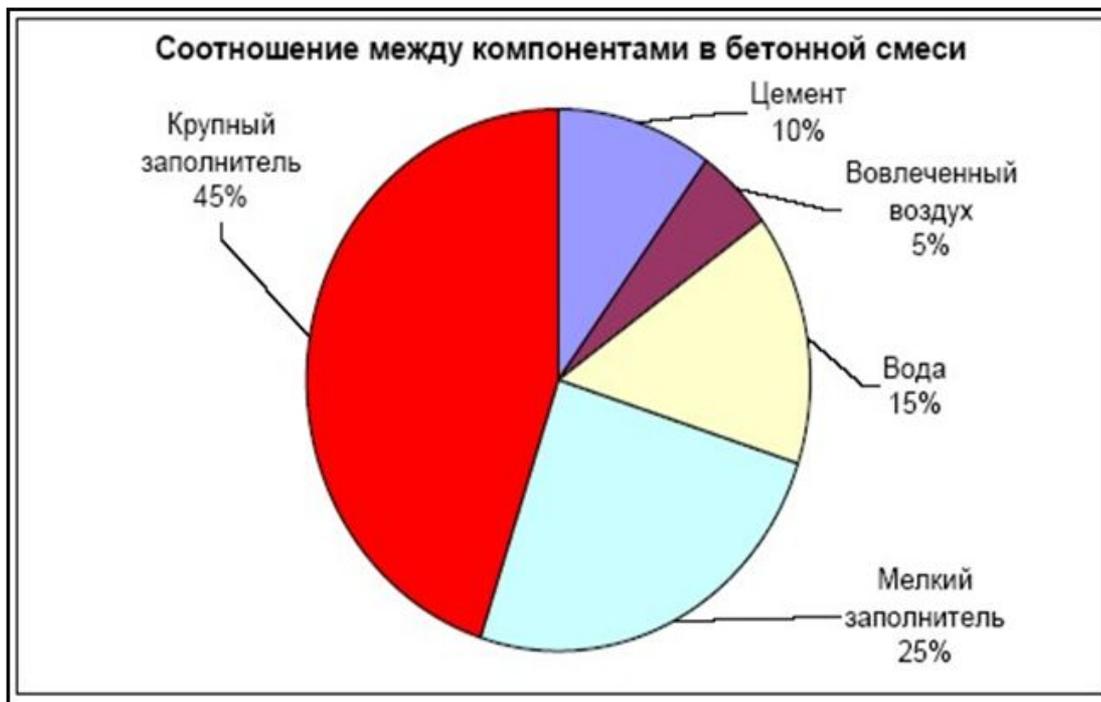
*Вопросы: Закон водоцементного отношения.*

*Проектирование структуры бетона.*

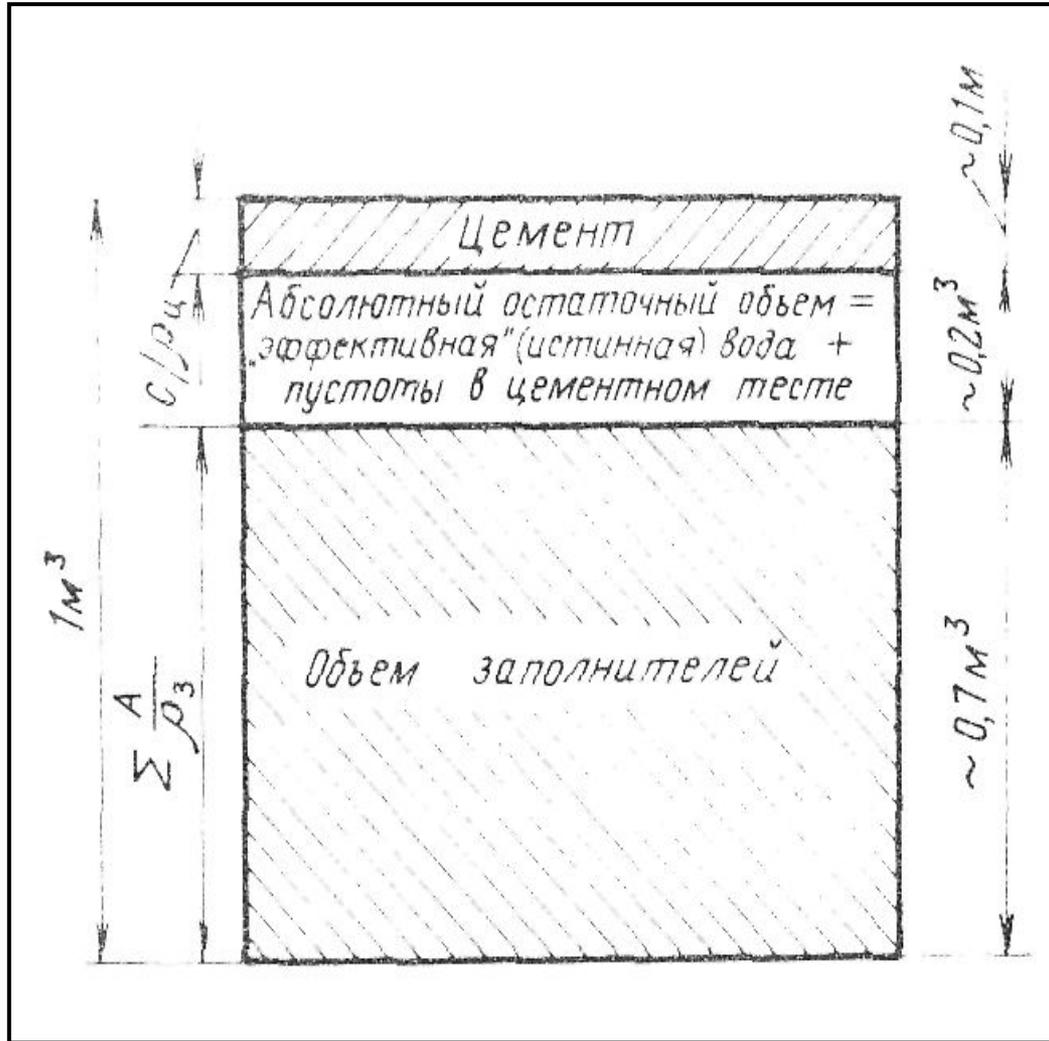
*Метод абсолютных объемов.*

*Особенности проектирования тяжелых бетонов*

**Проектирование составов бетона** — ключевая технологическая задача, решение которой определяет уровень эксплуатационной надежности конструкций и сооружений и степень рационального использования ресурсов, затраченных на их изготовление и возведение.



# МЕТОД АБСОЛЮТНЫХ ОБЪЕМОВ



Абсолютные объемы  
составляющих 1м<sup>3</sup>  
уплотненной легкогобетонной  
смеси:

**C** - содержание цемента, кг/м<sup>3</sup>;

**A** — содержание заполнителей,  
кг/м<sup>3</sup>;

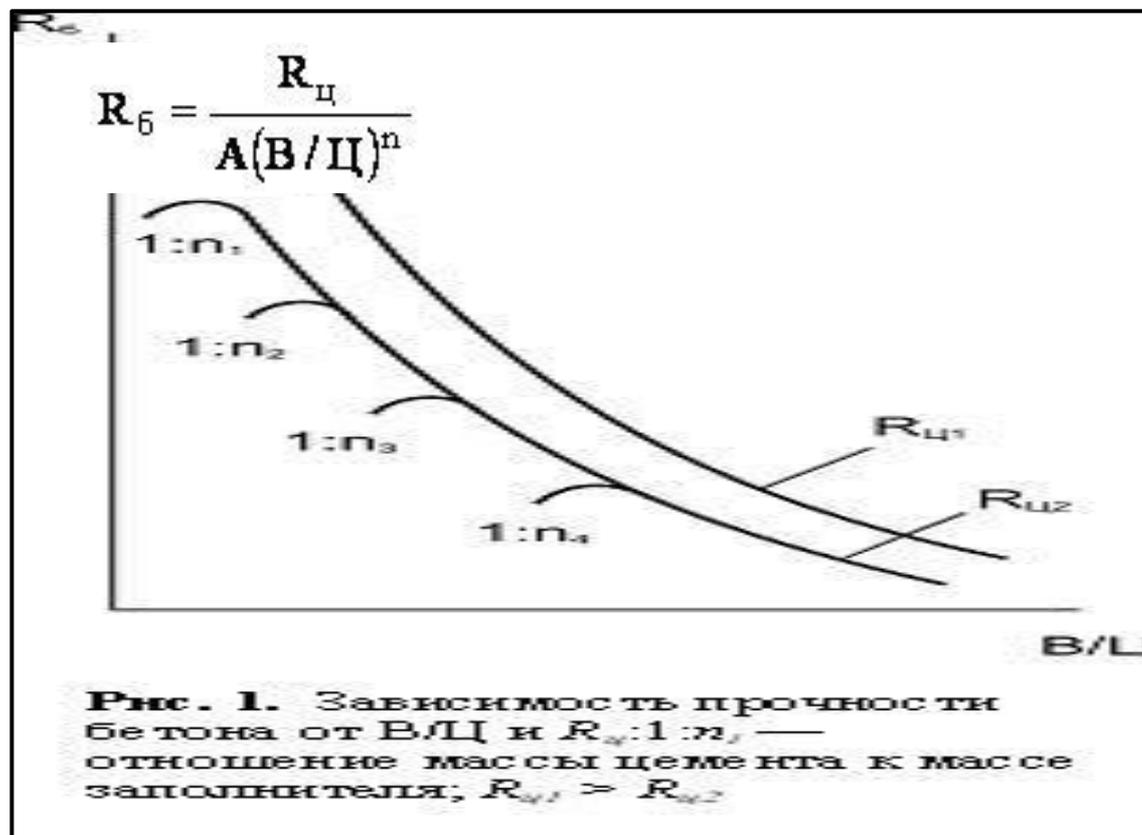
**$\rho_c$**  — истинная плотность  
цемента;

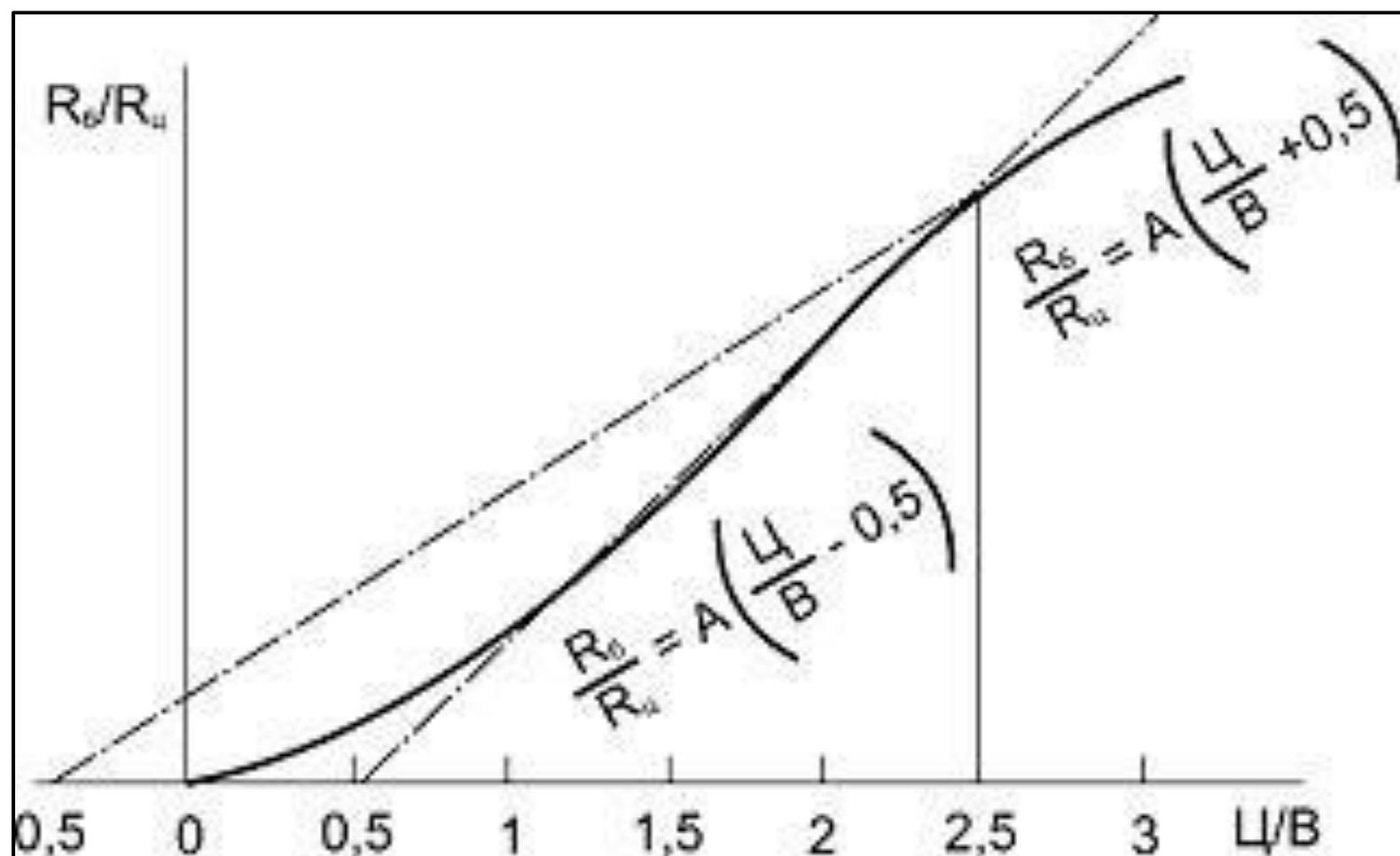
**$\rho_z$**  — истинная плотность  
заполнителя в куске.

## Закон водоцементного отношения.

Классический метод проектирования предусматривает решения системы соответствующих эмпирических уравнений прочности и удобоукладываемости бетона.

Развит в работах Д. Абрамса, Р. Фере, М. Боломея, Б.Г. Скрамтаева, Ю.М. Баженова





**Рис. 2.** Зависимость прочности бетона от  $L/B$

## Проектирование состава бетона включает:

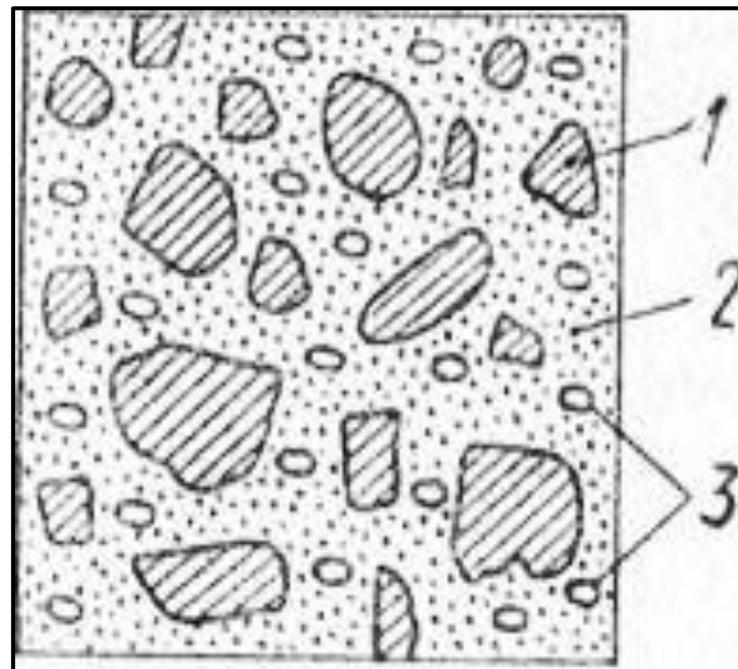
\*назначение требований к бетону, исходя из вида и особенностей службы и изготовления конструкций;

\*выбор материалов для бетона и получение необходимых данных, характеризующих их свойства;

\*определение предварительного состава бетона;

\*корректировку состава в пробных замесах;

\*контроль за бетонированием, проведение необходимой корректировки в процессе производства, вызванной колебаниями свойств заполнителя и другими факторами.



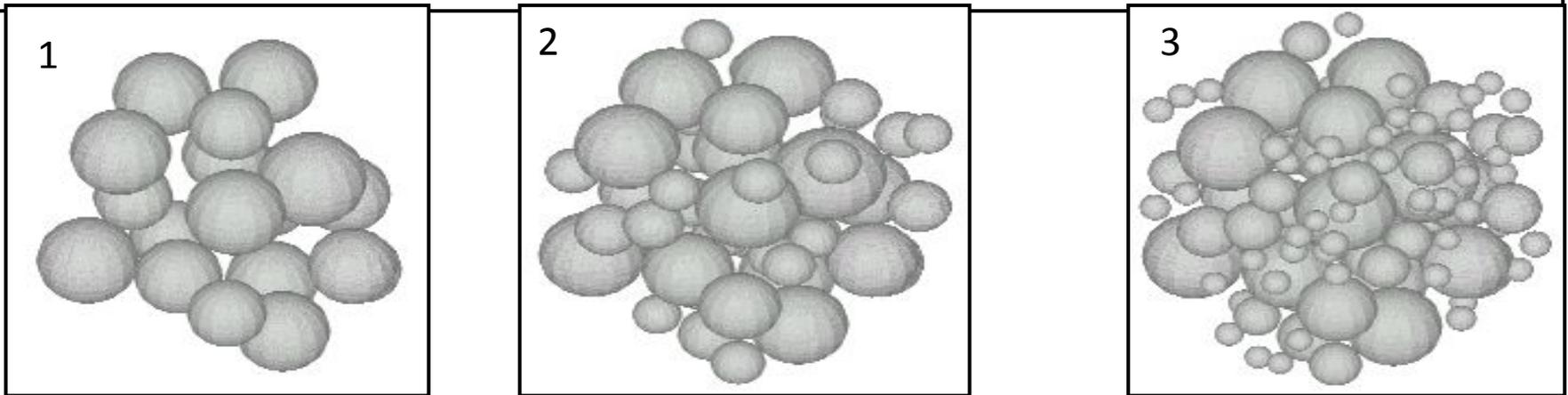
Схематическое изображение макроструктуры бетона:  
1 — крупный заполнитель,  $V_k$   
2 — растворная часть, мелкий заполнитель  $V_m$   
3 — воздушные поры

**Объем, расположение, распределение зерен заполнителей являются структурообразующими факторами бетона.**

**В технологической механике эта структура называется агрегатной (от aggregat (англ.) - заполнитель).**

**Критериями оптимизации агрегатной структуры являются пустотность и дисперсность, что базируется на теории случайного заполнения.**

**Обычно случайные упаковки тем плотнее, чем больше точек касания элементов. При уплотнении малоплотные упаковки трансформируются в более плотные, поэтому процессы моделирования должны предусматривать конечное состояние упаковок в бетоне.**



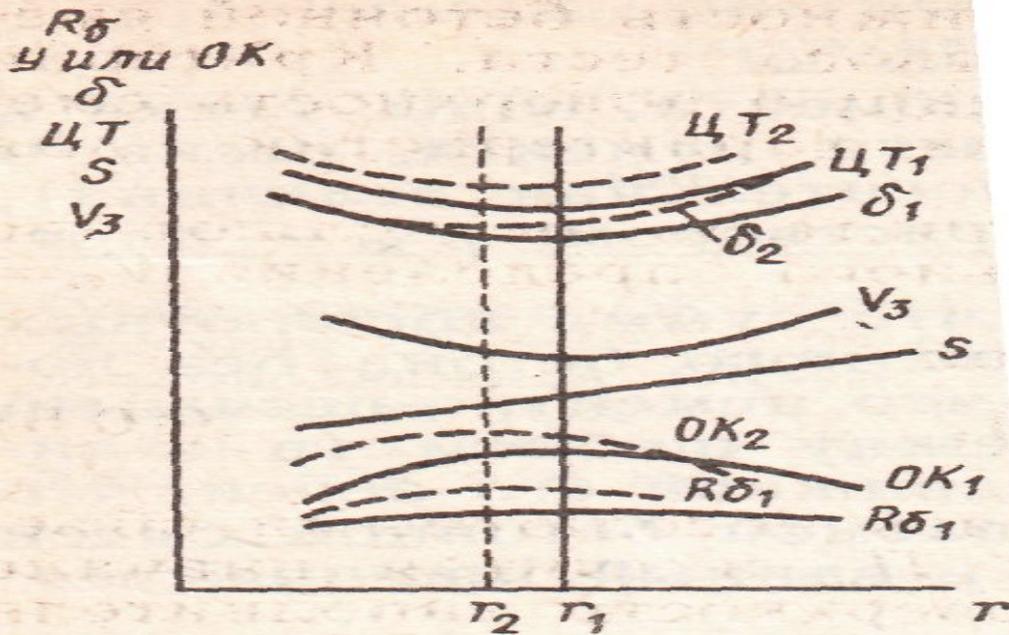


Рис. 10.1. Влияние соотношения  $r$  между песком и щебнем (гравием) на основные свойства бетона, бетонной смеси и смеси заполнителей:

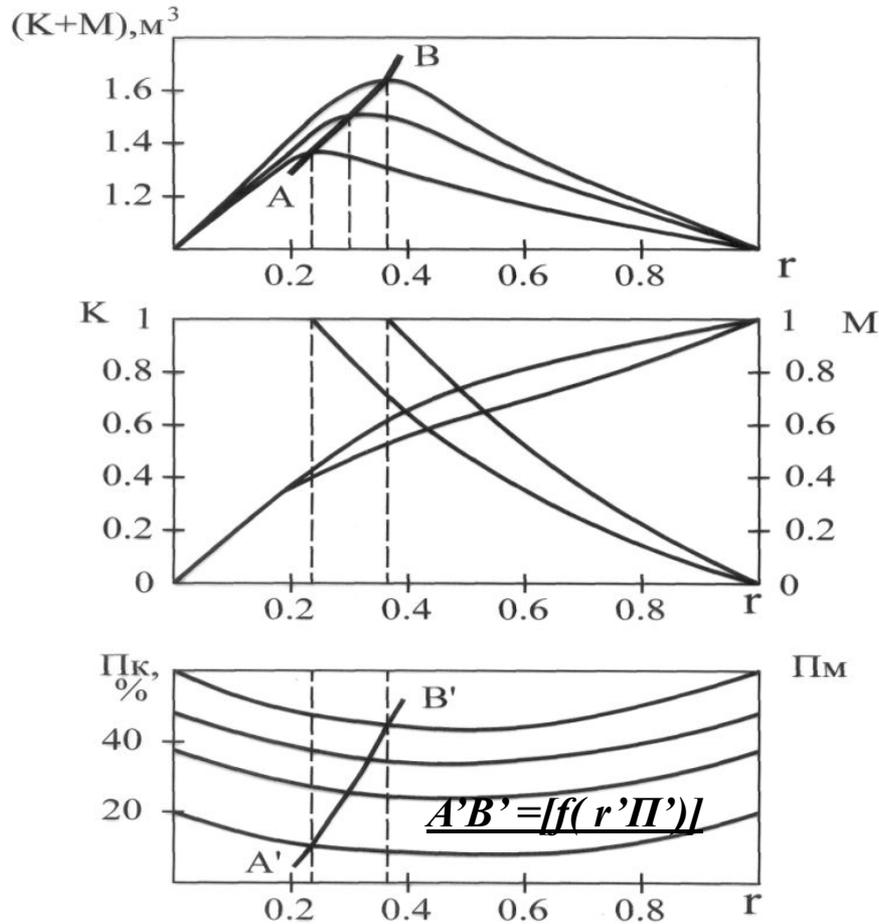
ЦТ—абсолютный объем цементного теста;  $R_b$  — предел прочности бетона; У или ОК—жесткость или подвижность бетонной смеси;  $V_з$  — объем пустот в смеси заполнителя;  $s$  — суммарная поверхность заполнителя;  $R_1$  и  $R_2$  — оптимальные значения, соответствующие  $ЦТ_1$ ,  $ЦТ_2$ , причем  $ЦТ_2 > ЦТ_1$

$$r = V_M / (V_M + V_K)$$

агрегатноструктурный фактор

## Аналитический расчет агрегатной структуры

### Номограмма расчета зернового состава



$$1. \quad r' = 0,5 \left| 0,1 + (0,1 + \Pi')^{0,5} \right|$$

$$2. \quad \Pi' = 0,55 \bar{\Pi}_3 - 0,03$$

$$3. \quad \bar{\Pi}_3 = \left[ \frac{2\Pi_K^2 \Pi_M^2}{\Pi_K + \Pi_M} \right]^{0,33}$$

$$4. \quad V_{(K+M)} = 3,43^{r'}$$

$$5. \quad V_K = 1 \quad V_M = V_{(K+M)} - 1$$

## Рекомендуемая удобоукладываемость бетонной смеси

Конструкции и способ уплотнения	Марка по удобоукладываемости	Жесткость, с	Подвижность, см
Плиты перекрытий плоские и ребристые, формуемые на виброплощадке	П1	4 и менее	1–4
Плиты пустотелые, формуемые на виброплощадке	Ж2	11–20	
Плиты пустотелые (с немедленной распалубкой)	Ж1	5–10	
Плиты дорожные, аэродромные, формуемые на виброплощадке	Ж1	5–10	
Панели наружных стен из легкого бетона, формуемые на виброплощадке	Ж1	5–10	
Плиты перекрытий, панели внутренних стен, формуемых в кассетах	П2 П3		5–9 10–15
Линейные изделия простого профиля, формуемые на виброплощадке (сваи, ригели, колонны)	Ж1	5–10	
То же глубинными вибраторами	П1	4 и менее	1–4
Центрифугированные изделия	П2		5–9
Плиты тротуарные, камень бортовой, формуемые вибропрессами	Ж4	31–60	
Густоармированные конструкции, уплотняемые вибронасадками, глубинными вибраторами, на виброплощадках	П2		5–9

## Метод абсолютных объемов

Предложен профессором Б.Г. Скрамтаевым,  
развит в работах профессора Ю.М.Баженова

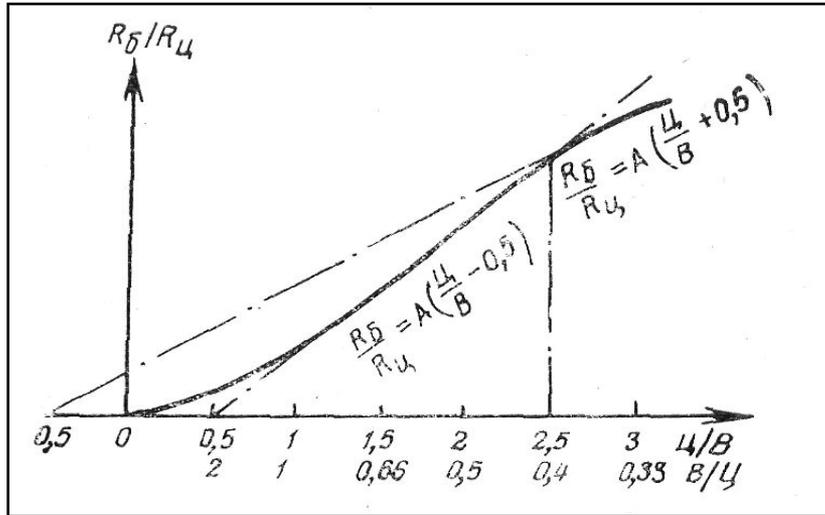
Расчет состава тяжелого бетона методом абсолютных объемов основывается на следующих условиях и закономерностях:

-условие первое – сумма абсолютных объемов всех компонентов бетона равна 1 м<sup>3</sup> ( 1000 л) уплотненной бетонной смеси, т. е.

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1 ,$$

-условие второе – цементно-песчаный раствор должен заполнить все пустоты между крупным заполнителем с некоторой раздвижкой его зерен, т. е

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} = \frac{Щ}{\rho_{щ}^н} \alpha \cdot V_{пуст.}$$



Зависимость прочности бетона от Ц/В.

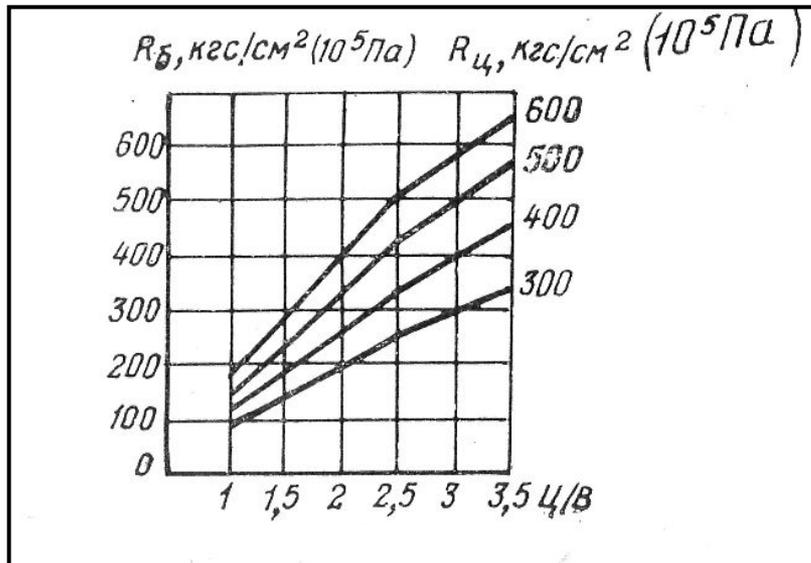


График для назначения Ц/В

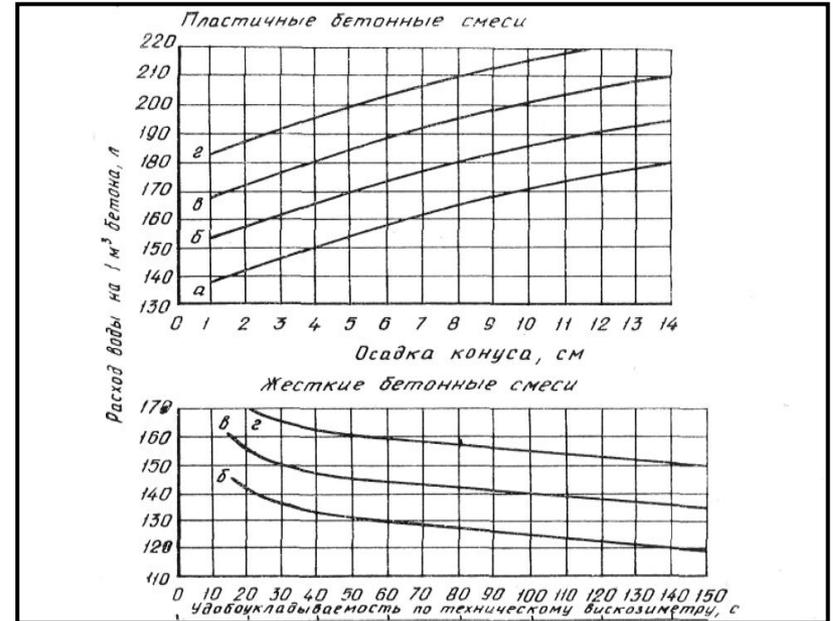


График водопотребности бетонной смеси.  
Ц = В : В/Ц

$$R_b = A R_c (\frac{C}{B} - 0,5),$$

$$\frac{B}{C} = \frac{A R_c}{R_b + A \cdot 0,5 R_c};$$

$$C = B \cdot \frac{B}{C}.$$

### Ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Марка бетонной смеси по удобоукладываемости	Жесткость, с	Подвижность, см	Расход воды (л/м <sup>3</sup> ) при крупности заполнителя, (мм)							
			гравия				щебня			
			10	20	40	70	10	20	40	70
СЖ1	50 и менее	—	140	125	115	110	150	140	125	120
Ж4	31–60	—	150	135	125	120	160	150	135	130
Ж3	21–30	—	160	145	130	125	170	160	145	140
Ж2	11–20		165	150	135	130	175	165	150	155
Ж1	5–10		175	160	145	140	185	175	160	165
П1	4 и менее	1–4	190	175	160	155	200	190	175	170
П2		5–9	200	185	170	165	210	200	185	180
П3		10–15	215	200	190	180	225	215	200	190
П4	Жесткость, с	16–20	225	220	205	190	235	230	215	200
П5		21 и более	235	230	220	220	245	240	225	210

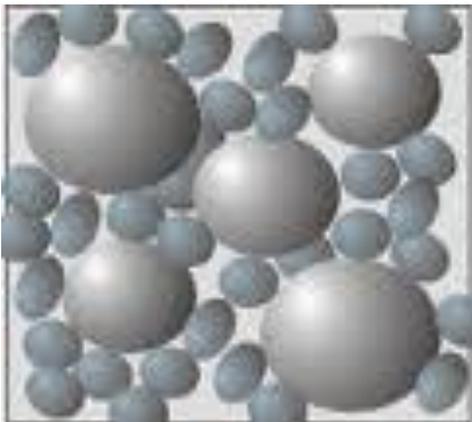
### Минимальный расход цемента для получения нерасслаиваемой плотной бетонной смеси

Вид смеси	Наибольшая крупность заполнителя, мм			
	10	20	40	70
Особо жесткая (Ж>20 с)	160	150	140	130
Жесткая (Ж=10–20 с)	180	160	150	140
Малоподвижная (Ж=5–10 с)	200	180	160	150
Подвижная (ОК=1–10 см)	220	200	180	160
Очень подвижная (ОК=10–16 см)	240	220	200	180
Литая (ОК>16 см)	250	230	210	190

$$\rho_{\text{Щ}} = \frac{1}{\frac{1}{\rho_{\text{Щ}}} + \alpha \frac{V_{\text{пуст}}}{\rho_{\text{Щ}}^{\text{н}}}}$$

$$\rho_{\text{П}} = \left[ 1 - \left( \frac{C}{\rho_{\text{Ц}}} + \frac{B}{\rho_{\text{В}}} + \frac{\rho_{\text{Щ}}}{\rho_{\text{Щ}}} \right) \right] \rho_{\text{П}}$$

# Коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя $\alpha$



## Значение коэффициента $A_1$ и $A_2$

Заполнитель:	$A_1$	$A_2$
высококачественный	0,65	0,43
рядовой	0,60	0,40
пониженного качества	0,55	0,37

## Значения коэффициента $\alpha$ для пластичных бетонных смесей

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент $\alpha$ при В/Ц, равном				
	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	—	—	—
500	1.5	1.56	—	—	—

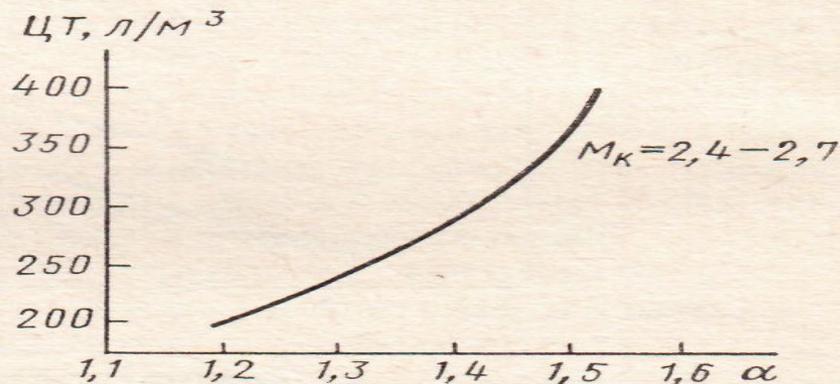


Рис. III.7. Зависимость коэффициента раздвижки зерен  $\alpha$  от расхода цементного теста на 1 м<sup>3</sup> бетона.

При уменьшении модуля крупности песка  $M_{кр}$  на 1 коэффициент  $\alpha$  уменьшается на 0,1—0,15, однако он не должен быть менее 1,1

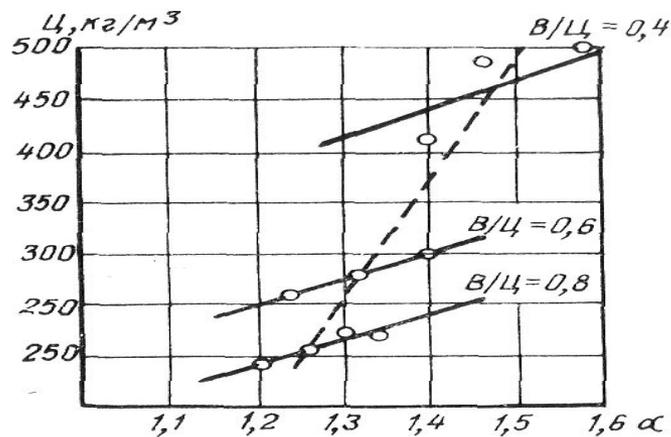


Рис. 33. Зависимость коэффициента  $\alpha$  от расхода цемента

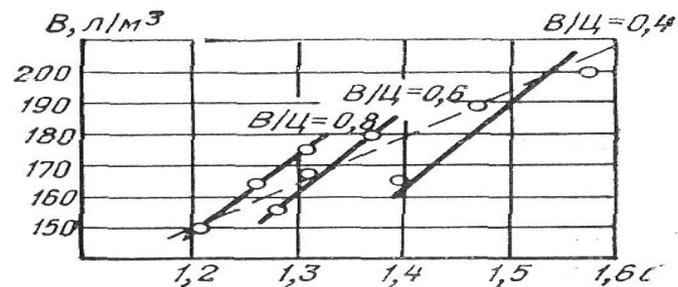


Рис. 34. Зависимость коэффициента  $\alpha$  от расхода воды

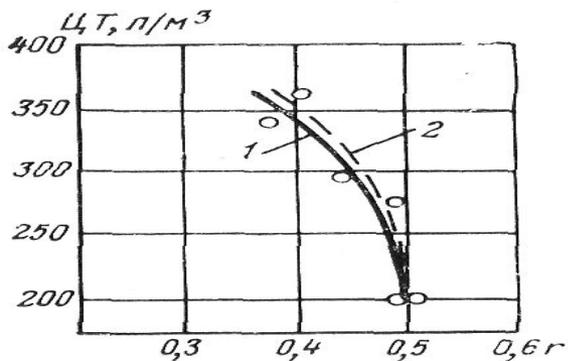


Рис. 31. Зависимость оптимального соотношения между песком и щебнем (гравием) от расхода цементного теста на  $1 \text{ м}^3$  бетона

1 — опытная кривая; 2 — расчетная кривая

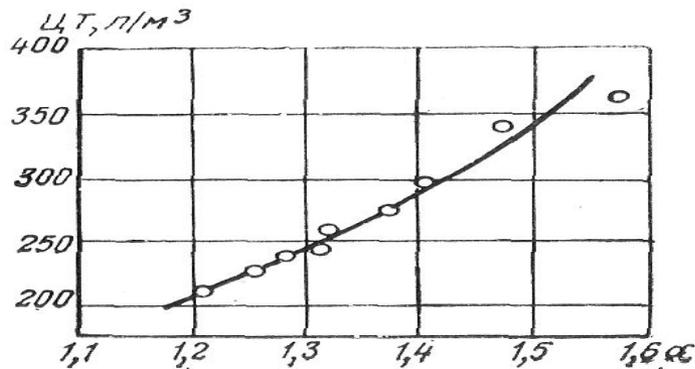


Рис. 32. Зависимость коэффициента раздвижки зерен  $\alpha$  от расхода цементного теста на  $1 \text{ м}^3$  бетона (на щебне)

## Корректирование расчетных составов бетона.

1. Определяют фактический объем бетонной смеси в пробном замесе по формуле

$$V_{\text{факт.}} = \frac{\sum m}{\rho_{\text{б.см.}}^{\text{ф}}};$$

2. Определяют фактический расход материалов на 1 м<sup>3</sup>

$$Ц_{\text{ф}} = \frac{Ц_{\text{пр}}}{V_{\text{факт}}} 1000;$$

$$Щ_{\text{ф}} = \frac{Щ_{\text{пр}}}{V_{\text{факт}}} 1000;$$

$$П_{\text{ф}} = \frac{П_{\text{пр}}}{V_{\text{факт}}} 1000;$$

$$В_{\text{ф}} = \frac{В_{\text{пр}}}{V_{\text{факт}}} 1000 ,$$

3. Корректируют состав путем балансирования объемов компонентов с рабочим составом:

- корректировка расхода воды с учетом влажности заполнителей;

- корректировка объема крупного заполнителя с учетом наличия в нем мелкой фракции.

**Ориентировочные составы бетона на щебне  
с НК = 20 мм при ОК = 5–9 см**

Средняя прочность бетона в возрасте 28 сут. нормального твердения	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				В/Ц
	Ц	П	Щ	В	
100	200	875	1020	195	0,97
150	230	865	1080	195	0,85
200	275	810	1080	205	0,75
250	315	750	1100	205	0,65
300	355	710	1100	205	0,56

**Примечание.** При переходе на гравий расход воды уменьшается на 10–15 л/м<sup>3</sup>, расход гравия увеличивается на 26–40 кг/м<sup>3</sup>.

## Коэффициент выхода бетонной смеси

Материалы, предназначенные для изготовления бетона, до перемешивания занимают объем, равный сумме их объемов в отдельности. Обозначим эту сумму (только сухих компонентов без воды) через

$$(Ц/\gamma_{ц})+(П/\gamma_{п})+(З_{кр}/\gamma_{зк})=1000л \quad \text{-расчетные значения.}$$

Полученный объем бетонной смеси будет всегда меньше суммы объемов первоначально загруженных материалов:

$$V_{б} < [(Ц/\gamma_{ц})+(П/\gamma_{п})+(З_{кр}/\gamma_{зк})]$$

что можно заменить равенством  $V_{б} < \beta[(Ц/\gamma_{ц})+(П/\gamma_{п})+(З_{кр}/\gamma_{зк})]$

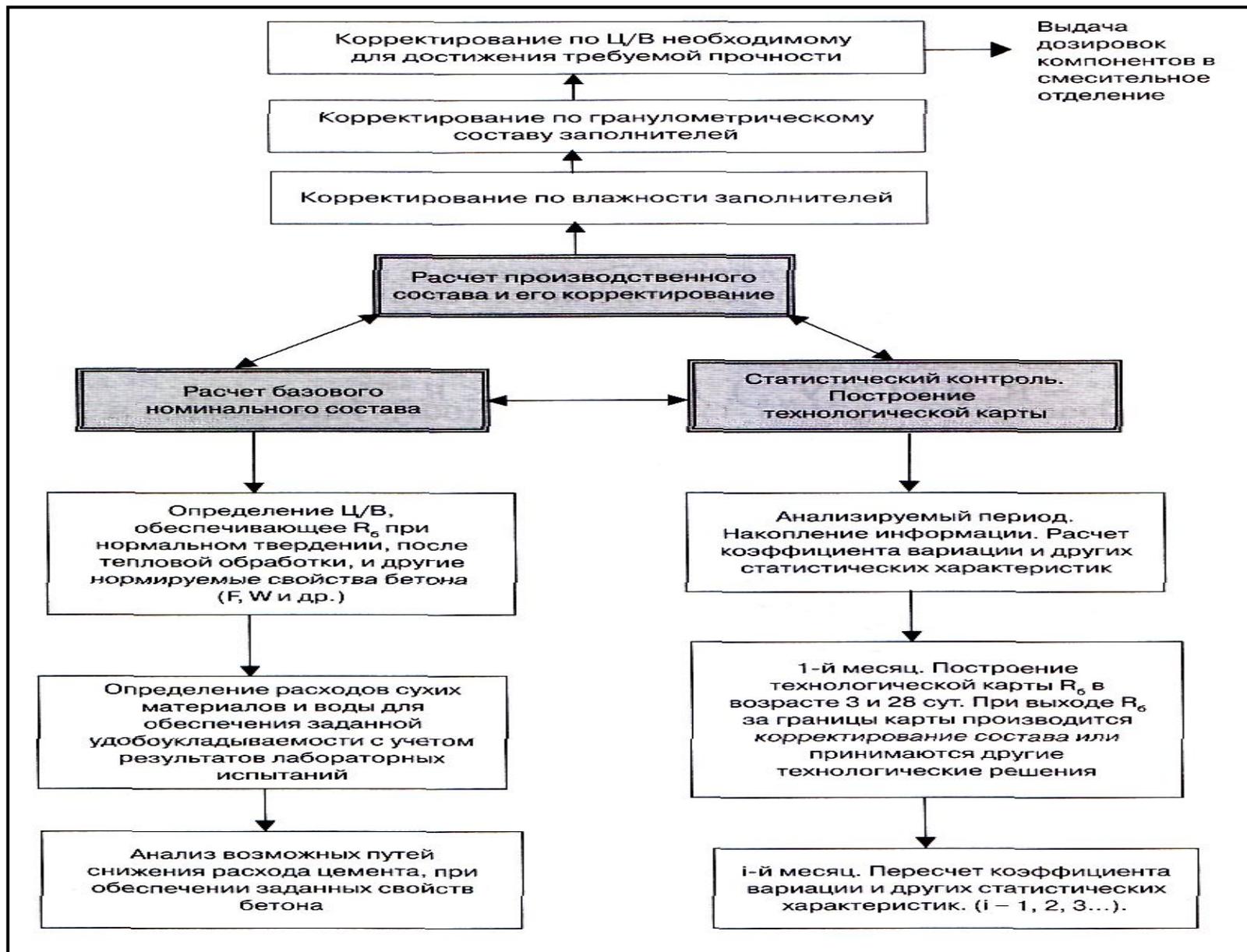
где  $\beta$  – коэффициент выхода бетона.

Эта величина всегда меньше единицы, она находится в пределах 0,55–0,75 в зависимости от объема пустот в заполнителях.

$$\beta=1000 / [(Ц/\gamma_{ц})+(П/\gamma_{п})+(З_{кр}/\gamma_{зк})]$$

где  $Ц/\gamma_{ц}$ ,  $П/\gamma_{п}$ ,  $З_{кр}/\gamma_{зк}$  - фактические расходы цемента, песка, крупного заполнителя на 1 м<sup>3</sup> бетона, л

# Общая схема проектирования и корректировки составов бетона

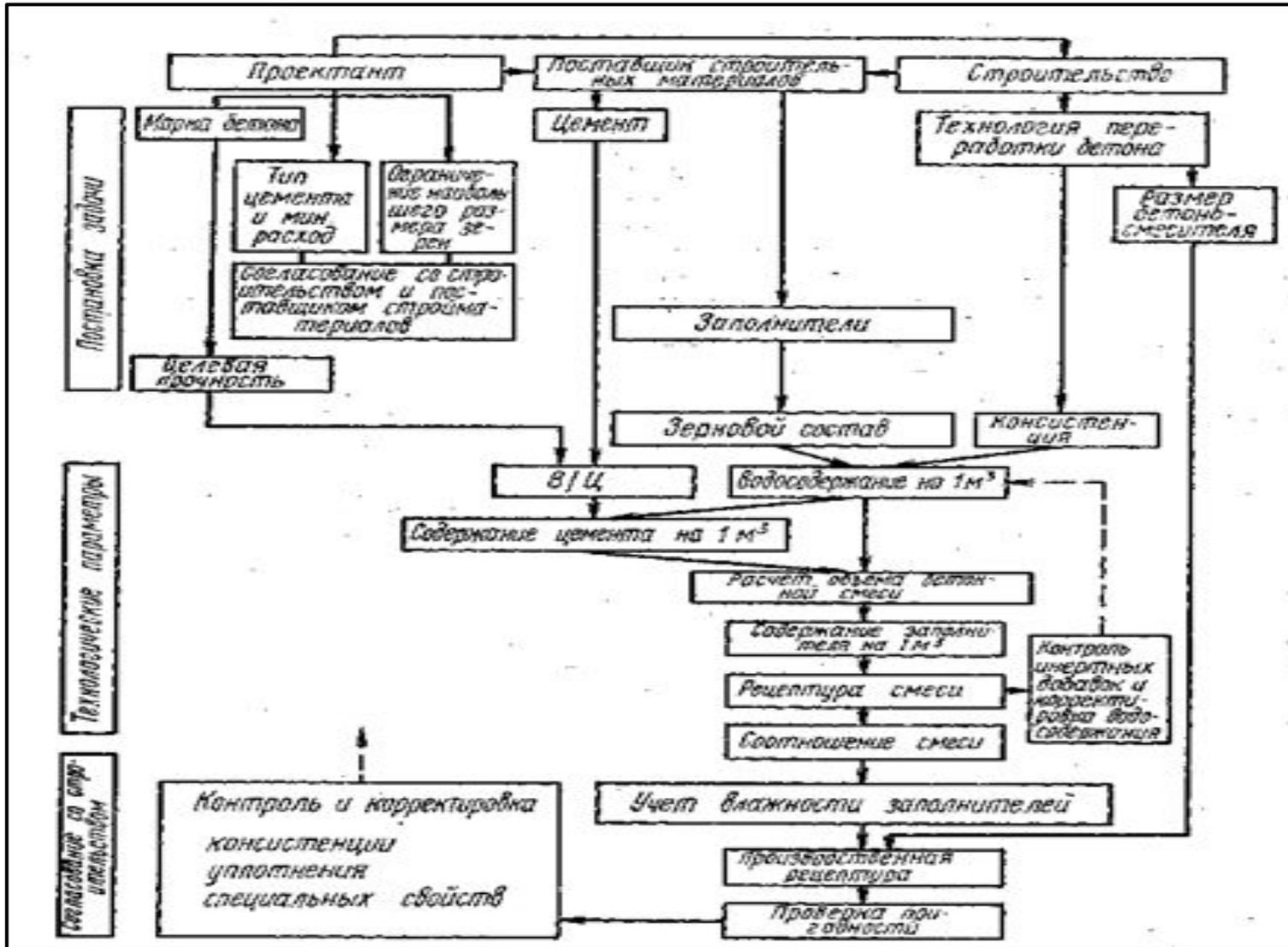


## ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ СОСТАВ БЕТОНА НА ГРАНИТНОМ ЩЕБНЕ

(по таблицам И. М. Френкеля для заполнителей,  
удовлетворяющих ГОСТ)

$\frac{В}{Ц}$	Состав бетона по объему (цемент, песок, щебень)	Расход цемента в кг на 1 м <sup>3</sup> бетона	Дозировка на 100 л емкости барабана бетономешалки				Выход бетона
			Цемент в кг	Песок сухой в л	Щебень в л	Всего воды в л	
Бетон с осадкой конуса 3—7 см для тщательной ручной укладки или с вибрацией							
0,50	1 : 1,6 : 3,1	360	20,4	27	53	10,2	0,59
0,55	1 : 1,8 : 3,3	328	19,7	30	54	10,8	0,60
0,60	1 : 2,1 : 3,5	300	18,2	32	53	10,9	0,61
0,65	1 : 2,3 : 3,7	276	17,1	33	53	11,1	0,61
0,70	1 : 2,6 : 3,8	258	16,3	35	52	11,4	0,63
0,75	1 : 2,9 : 4,0	240	15,2	37	51	11,4	0,63
0,80	1 : 3,1 : 4,2	225	14,5	37	51	11,6	0,64
0,85	1 : 3,5 : 4,4	212	13,5	39	49	11,6	0,64
Бетон с осадкой конуса 10—12 см для укладки в густоармированные конструкции							
0,50	1 : 1,4 : 2,7	397	23,5	27	53	11,8	0,59
0,55	1 : 1,7 : 2,9	360	21,5	30	52	11,8	0,60
0,60	1 : 1,9 : 3,1	330	20,0	32	52	12,0	0,61
0,65	1 : 2,1 : 3,3	304	18,8	33	52	12,2	0,62
0,70	1 : 2,3 : 3,5	282	17,7	34	52	12,4	0,63
0,75	1 : 2,5 : 3,6	264	16,6	35	51	12,5	0,64
0,80	1 : 2,8 : 3,8	248	15,8	37	50	12,6	0,64
0,85	1 : 3,1 : 4,0	232	14,8	38	49	12,6	0,64

# Алгоритмы задач оптимизации составов бетона.



## состав и техническая характеристика бетона (раствора)

№	Наименование продукции	Нормативный документ	Класс (марка) бетона (раствора) по прочности на сжатие	Плотность бетонной (растворной) смеси кг/м <sup>3</sup>	Морозостойкость F	Водопроницаемость W	Удобоукладываемость П	Расход материала на 1 кубм бетона					
								цемент, кг	щебень, кг	песок, кг	вода, л	C-3 (0,7%) от массы цемента	противоморозная добавка (электр. в. Года) ФН-кг
1	БСГ	ГОСТ 7473-94	B15(M200)	2400	200	6	П2	260	1080	900	155	4,3	-5°C 5,2 -10°C 7,8 15°C 10,4
2	БСГ	ГОСТ 7473-94	B15(M200)	2385	200	6	П3	280	1040	895	165	4,6	-5°C 5,6 -10°C 8,4 15°C 11,2
3	БСГ	ГОСТ 7473-94	B20(M250)	2405	200	6	П2	300	1080	865	155	4,9	-5°C 6,0 -10°C 9,0 15°C 12,0
4	БСГ	ГОСТ 7473-94	B20(M250)	2390	200	6	П3	320	1040	860	165	5,3	-5°C 6,4 -10°C 9,6 15°C 12,8
5	БСГ	ГОСТ 7473-94	B22,5(M300)	2415	300	8	П2	340	1080	835	155	5,6	-5°C 6,8 -10°C 10,2 -15°C 13,6
6	БСГ	ГОСТ 7473-94	B22,5(M300)	2400	300	8	П3	360	1040	830	165	5,9	-5°C 7,2 -10°C 10,8 -15°C 14,6
7	БСГ	ГОСТ 7473-94	B22,5(M300)	2390	300	8	П4	380	1000	830	175	6,2	-5°C 7,6 10°C 14,4 -15°C 15,2
8	БСГ	ГОСТ 7473-94	B25(M350)	2420	300	8	П2	380	1080	800	155	6,2	-5°C 7,6 10°C 12,4 -15°C 13,2
9	БСГ	ГОСТ 7473-94	B25(M350)	2405	300	8	П3	400	1040	795	165	6,6	-5°C 8,0 10°C 10,0 -15°C 12,0
10	БСГ	ГОСТ 7473-94	B25(M350)	2395	300	8	П4	420	1000	795	175	6,9	-5°C 8,4 10°C 12,6 -15°C 16,8
11	БСГ	ГОСТ 7473-94	B30(M400)	2430	300	10	П2	420	1080	770	155	6,9	-5°C 8,4 10°C 12,6 -15°C 16,8
12	БСГ	ГОСТ 7473-94	B30(M400)	2420	300	10	П3	445	1040	765	165	7,3	-5°C 8,9 10°C 13,3 -15°C 17,8
13	БСГ	ГОСТ 7473-94	B30(M400)	2410	300	10	П4	470	1000	760	175	7,7	-5°C 9,4 10°C 14,4 -15°C 18,8

**ВОПРОСЫ?**

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**