

НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР

# РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПОДБОРУ  
СОСТАВОВ  
П-БЕТОНОВ

МОСКВА-1987

Госстрой СССР

Ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский институт  
бетона и железобетона  
(НИИЖБ)

РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПОДБОРУ  
СОСТАВОВ  
П-БЕТОНОВ

Утверждены  
директором НИИЖБ  
28 ноября 1986 г.

Москва 1987

УДК 666.972.31

Печатается по решению секции № 4 коррозии и спецбетонов Н Т С НИИЖБ Госстроя СССР от 6 ноября 1986 г.

Рекомендации по подбору составов П-бетонов. М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1987, с.28.

Рекомендации содержат основные положения по выбору материалов и подбору составов П-бетонов различных марок, вида и назначения, включая химстойкие, диэлектрические и электропроводящие. Изложены требования к материалам для приготовления П-бетонов, исходные данные для расчета и подбора их составов. Приведена методика расчета начальных составов полимербетонов. Дана терминология и классификация П-бетонов.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников строительных лабораторий и научно-исследовательских организаций.

Табл. 10, илл. 5.

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт бетона и железобетона, 1987

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации составлены в развитие ГОСТ 27006-86.

В Рекомендациях приведены три метода (в том числе ускоренный метод), позволяющие решать задачу подбора рационального состава П-бетона сборных конструкций заводского изготовления или для монолитного строительства.

Использование одного из предложенных методов позволяет подобрать начальный состав бетона для испытаний его с последующей корректировкой по требуемым параметрам.

Настоящие Рекомендации разработаны НИИЖБ Госстроя СССР (д-р техн. наук, проф. В.В.Патуроев, кандидаты техн. наук А.Н.Волгушев, Г.К.Соловьев, инж. В.А.Елфимов) при участии КТБ НИИЖБ (инж.М.В.Патуроев), Гипроцветмета Минцветмета СССР (инж.А.М.Фанталов), СУС Норильского ГМК Минцветмета СССР (инженеры Н.В.Еткин, Р.Г.Халиков), ЦНИИЭПсельстроя Госагропрома СССР (инж.В.А.Еремина).

Замечания и предложения просьба направлять в НИИЖБ по адресу: 109389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6.

Дирекция НИИЖБ

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации распространяются на конструкционные тяжелые и легкие полимербетоны и полимерсерные бетоны и устанавливают правила подбора, назначения и выдачи в производство составов этих бетонов на предприятиях и строительных организациях при изготовлении сборных конструкций и бетонной смеси для монолитных конструкций и сооружений.

1.2. По своему назначению полимербетонные и полимерсерные изделия и конструкции делятся на две основные группы: к первой группе относятся не несущие защитные, ограждающие или декоративно-отделочные (химические стойкие полы, футеровки, декоративно-отделочные плиты и т.п.), ко второй – несущие химически стойкие, электропроводящие, с высокими диэлектрическими характеристиками и т.п. (трубы, лотки, емкости, фундаментные блоки, балки, колонны и др.).

Проектирование оптимальных составов этих двух групп имеет принципиальное различие, обусловленное их назначением и заданными свойствами.

1.3. При проектировании составов бетонов, относящихся к первой группе, необходимо выбирать связующие, которые обладают помимо заданных свойств повышенной эластичностью. Если эластичность связующего оказывается недостаточной, то в связующее вводят различные пластификаторы.

1.4. Проектирование составов бетонов второй группы для несущих конструкций требует учета многих факторов, главными из которых являются следующие:

в зависимости от вида агрессивной среды, действующей на конструкции в процессе эксплуатации, определяется химическая природа синтетического связующего. Бетоны, получаемые на выбранном связующем, должны обладать максимально возможной прочностью и жесткостью; наполнители и заполнители для таких бетонов должны обладать необходимой прочностью, химической стойкостью, а для электропроводящих бетонов – соответствующим электросопротивлением;

высокая жесткость полимербетонов и полимерсерных бетонов обуславливает возникновение в таких композициях значительных усадочных напряжений, которые в некоторых случаях могут быть соизмеримы с прочностью материала. Для снижения внутренних напряжений в состав связующего рекомендуется вводить поверхностно-активные вещества (ПАВ) в количестве 0,5-1,0 % массы связующего;

непременным условием проектирования составов должна быть экономическая целесообразность и эффективность применения таких конструкций;

1.5. Рекомендации устанавливают порядок выбора материала (составляющих) для полимербетонов и полимерсерных бетонов и методы подбора их составов различного назначения и марок по прочности на сжатие с использованием различного вида связующих, применяемых для изготовления сборных конструкций или укладки монолитного бетона.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ П-БЕТОНОВ

### Смолы, отвердители и пластификаторы

2.1. Для приготовления полимербетонов следует применять следующие синтетические смолы:

фурфурол-ацетоновую смолу ФАМ или ФА (ТУ 59-02-039.07-79);

ненасыщенную полиэфирную смолу ПН-1 или ПН-63 (ОСТ 6-05-431-78);

карбамидноформальдегидную смолу КФ-Ж (ГОСТ 14231-78\*);

фурано-эпоксидную смолу ФАЭД-20 (ТУ 59-02-039.13-78);

эфир метиловый метакриловой кислоты (мономер метилметакрилат) ММА (ГОСТ 20370-74\*E).

2.2. В качестве отвердителей для синтетических смол рекомендуется использовать:

для фурфурол-ацетоновых смол ФАМ и ФА - бензолсульфокислоту БСК (ТУ 6-14-25-74);

для полиэфирных смол ПН-1 и ПН-63 - систему, состоящую из гидроперекиси изопропилбензола ИП (ТУ 38-10293-75) и стирольного раствора нафтената кобальта НК (ТУ 6-05-1075-76);

для карбамидноформальдегидной КФ-Ж - солянокислый анилин С К А (ГОСТ 5822-78);

для фурано-эпоксидной смолы ФАЭД-20 - полиэтиленполиамин ПЭПА (ТУ 6-02-594-80E);

для метилметакрилата ММА - систему, состоящую из технического диметиланилина ДМА (ГОСТ 2168-83) и перекиси бензоила ПБ (ГОСТ 14888-78\*).

2.3. Для снижения летучести метилметакрилата следует применять нефтяной парафин (ГОСТ 23683-79\*).

2.4. Для стабилизации протекания реакция отверждения метилметакрилата следует применять эмульсионный полистирол (ГОСТ 20282-74\*).

2.5. В качестве пластифицирующих добавок рекомендуется применять:

каталин (ТУ 6-01-1094-77);

алкамон (ОС-2 (ГОСТ 10106-75\*));

меламино-формальдегидную смолу К-421-02 (ТУ 6-10-1022-78);

сульфированные нафталинформальдегидные соединения - пластификатор С-3 (ТУ 6-14-10-205-78).

2.6. Хранение материалов, перечисленных в пп. 2.1-2.5 настоящих Рекомендаций, производится в соответствии с требованиями ГОСТ и ТУ. Перед применением необходимо провести проверку на соответствие продуктов требованиям ГОСТ и ТУ.

#### Требования к заполнителям

2.7. В качестве крупного заполнителя для тяжелых П-бетонов могут применяться щебень из естественного камня или щебень (дробленый) из гравия, отвечающие требованиям ГОСТ 8267-82, ГОСТ 8268-82, ГОСТ 10260-82 и требованиям "Инструкции по технологии приготовления полимербетонов и изделий из них" СН 525-80 (М., Стройиздат, 1981).

Применение щебня из осадочных горных пород для полимербетонов, отверждаемых кислыми отвердителями, не допускается.

В качестве крупных пористых заполнителей для П-бетонов следует применять керамзитовый, шунгизитовый гравий и аглопоритовый щебень, соответствующие требованиям ГОСТ 9759-83, ГОСТ 19345-83, ГОСТ 11991-83 и Инструкции СН 525-80.

2.8. Для приготовления тяжелых П-бетонов высокой плотности следует применять щебень фракций, указанных в табл. I.

Таблица I

Наибольшая крупность щебня, мм	Соотношение между фракциями, %, при размере фракций, мм			
	5-10	10-20	20-40	40-60
10	100	-	-	-
20	35	65	-	-
40	45-60	-	40-55	-
60	25-35	-	25-35	30-50

Примечание. При необходимости зерновой состав смеси крупного заполнителя уточняется экспериментально по ее наибольшей средней плотности с учетом местных технико-экономических возможностей.

Зерновой состав каждой фракции должен отвечать требованиям ГОСТ 10268-80. При этом наибольший диаметр рекомендуется выбирать в соответствии с табл.2.

Таблица 2

Вид конструкции и способ укладки бетонной смеси	Допустимая наибольшая крупность щебня, не более
Плиты покрытий, перекрытий	1/3 толщины плиты
Балки, колонны, рамы	3/4 наименьшего расстояния между стержнями арматуры
Ванны электролиза цветных металлов, травильные ванны	1/6 толщины стенок ванны
Подача полимербетонной смеси по хоботу	1/4 диаметра хобота

2.9. Для приготовления П-бетонов на пористых заполнителях следует применять крупный пористый заполнитель с максимальной крупностью 20 мм, который рекомендуется разделять в зависимости от размера зерен на две фракции (5-10 и 10-20 мм). Зерновой состав каждой фракции должен отвечать требованиям ГОСТ 9759-83.

2.10. Для приготовления П-бетонов в качестве мелкого заполнителя следует применять кварцевые пески, отвечающие требованиям ГОСТ 8736-77\* и Инструкции СН-525-80:

природные (в естественном состоянии), природные фракционированные и природные обогащенные;

дробленые и дробленые фракционированные.

Зерновой состав мелкого заполнителя должен соответствовать кривой просеивания, приведенной в ГОСТ 10268-80. Модуль крупности песка должен быть в пределах от 2 до 3.

2.11. Содержание в природных и дробленых песках зерен, проходящих через сито № 014, не должно превышать 2 %, а пылевидных, илистых и глинистых частиц, определяемых отмучиванием - 0,5 %.

2.12. Испытание тяжелых крупных заполнителей следует производить по ГОСТ 9758-77, а песка - по ГОСТ 8735-75.

2.13. Крупные и мелкие заполнители должны быть сухими - влажность не более 0,5 %.

2.14. В полимербетонных составах, отверждаемых кислотными отвердителями, не допускается загрязнение заполнителей карбонатами (мел, мрамор, известняк), основаниями (известь, цемент) и металлической пылью (стальной, цинковой).



## Требования к наполнителям

2.15. Для приготовления П-бетонов в качестве наполнителей следует применять андезитовую муку (ТУ 6-12-101-77), кварцевую муку (ГОСТ 9077-82), маршалит (ГОСТ 8736-77\*), диабазовую муку, графитовый порошок (ГОСТ 8295-73\*).

Примечание. Допускается применение молотых тяжелого и аглопоритового щебня и кварцевого песка.

2.16. Удельная поверхность наполнителей, перечисленных в п.2.15 настоящих Рекомендаций, определенная по ГОСТ 310.2-76\*, должна быть в пределах от 2500 до 3000 см<sup>2</sup>/г.

2.17. В качестве водосвязующей добавки при приготовлении полимербетонов КФ-Ж используется полуводный строительный гипс (ГОСТ 125-79) или фосфогипс.

2.18. Влажность наполнителей, перечисленных в п.2.15 настоящих Рекомендаций, должна быть не более 1 %.

2.19. Кислотостойкость песка и наполнителей для кислотостойких полимербетонов, определяемая по ГОСТ 473.1-81, должна быть не ниже 97-98 %.

## Сера и модифицирующие добавки

2.20. Для приготовления полимерсерных бетонов применяется комковатая природная или газовая техническая сера (ГОСТ 127-76\*), модифицированная соответствующими добавками - пластификаторами, стабилизаторами, антипиренами, антисептиками. Основные требования, предъявляемые к добавкам-модификаторам: термическая совместимость с расплавленной серой, недефицитность, нетоксичность и низкая летучесть.

2.21. Введение в расплавленную серу активных минеральных наполнителей с удельной поверхностью 2500-3000 см<sup>2</sup>/г обуславливает образование мелкокристаллической структуры серы в серной мастике по сравнению с крупнокристаллической структурой свободной серы. При оптимальной степени наполнения образуется наиболее плотная и прочная структура серной мастики (рис.1).

2.22. С целью повышения пластичности и стабилизации структурного состояния серы в состав серных композиций рекомендуется вводить следующие модифицирующие добавки: жидкие тиоктолы (ГОСТ 12812-80\*), дициклопентадиен (ТУ 14-6-137-77), хлорпарафин ХП-1100 (ТУ 6-01-597-76) и др., в количестве от 1 до 3 % массы серы. Перечисленные модификаторы являются одновременно пластификаторами и стабилизаторами

серной композиции.

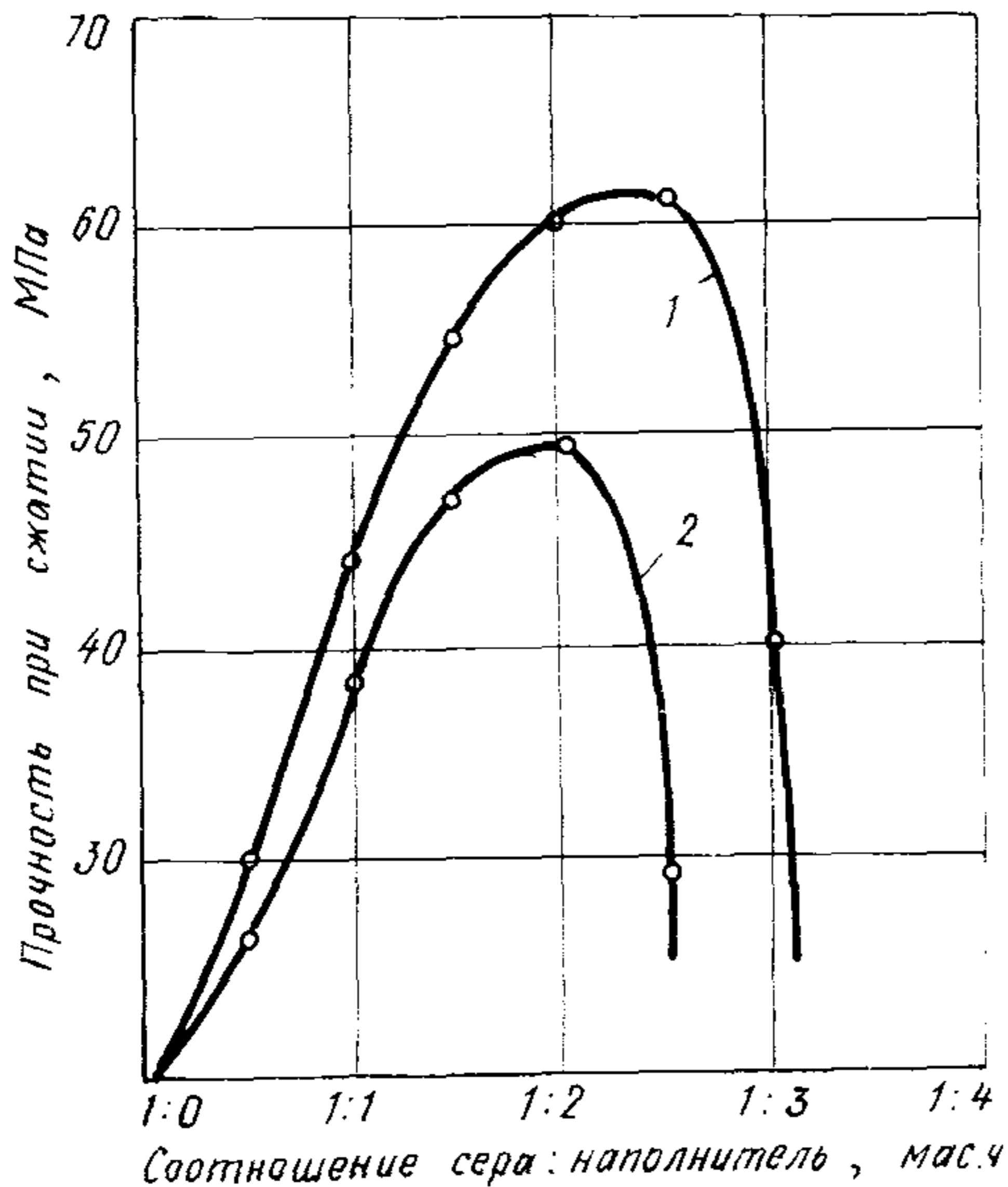


Рис.1. Изменение прочности при сжатии серных мастик в зависимости от степени наполнения

1 — данные НИИЖБ; 2 — данные Львовского Политехнического института

### 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА И ПОДБОРА СОСТАВОВ П-БЕТОНОВ

3.1. Задание на подбор состава П-бетона должно соответствовать требованиям разд.2 ГОСТ 27006-86 и дополнительно содержать следующие данные:

а) проектную марку бетона к определенному возрасту, требуемую долю марочной прочности к заданному сроку (распалубочную, передаточную прочности), а также характеристики по морозостойкости, истираемости, коррозионной стойкости и электрическим параметрам с указанием срока их достижения;

2.23. Для конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенной пожароопасности, в состав серных композиций следует вводить антипирены: полуторный сульфид мышьяка, пятихлористый фосфор, полифторсодержащие фосфиты, хлорпарафин ХП-1100 в количестве 2-3%. Для конструкций, эксплуатируемых в условиях возможного появления тионовых бактерий, вводят антисептики: нафталин (ТУ 6-09-1295-71), тимол (ТУ 6-09-3736-74) и др. в количестве 2-3% массы серы.

б) подвижность (см) или жесткость (с), определяемые по ГОСТ 10181.1-81;

в) вид и марку связующего;

г) вид и наибольшую крупность заполнителя, число и размеры фракций, на которые должны разделяться заполнитель при приготовлении составов П-бетонов.

3.2. Наибольшая крупность заполнителей в зависимости от видов бетонируемых элементов и способов подачи смеси к месту укладки назначается по табл.2.

3.3. Соотношение фракций крупного заполнителя в смеси принимается по табл.1.

3.4. Для приготовления электропроводящих полимербетонов используют коксовый или графитовый щебень. При изготовлении измерительных плит, базовых деталей в станкостроении рекомендуется высокопрочный гранитный и базальтовый щебень ( $R_{сж}$  до 200 МПа) или щебень из габбро-диабаз ( $R_{сж}$  до 300 МПа).

3.5. Подвижность и жесткость бетонной смеси устанавливаются по табл.3 и уточняются на производстве (в зависимости от характера и размеров конструкции, степени армирования, способа уплотнения смеси).

Таблица 3

Вид конструкции из П-бетона	Способ укладки смеси		
	с вибрацией	жесткость, с, по ГОСТ 10181.1-81	без вибрации
Сборные плиты, балки, колонны	4-8	4 и менее	6-12
Конструкции с нормально расположенной арматурой	8-10	Менее 2	12-15
Ванны электролиза цветных металлов, травильные ванны	12-18	-	-
Конструкции, сильно насыщенные арматурой и закладными деталями	16-22	-	-

#### 4. ПОДБОР НОМИНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ П-БЕТОНОВ

4.1. Подбор номинальных составов П-бетонов производят по следующим этапам:

выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона;

подбор начального состава расчетно-экспериментальным способом;

расчет дополнительных составов П-бетонов, отличающихся от начального состава по дозировке составляющих (в большую или меньшую сторону);

испытание образцов и обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава на нормируемые показатели качества бетонной смеси и бетона и предназначенных для назначения номинального, а также назначения и корректировки рабочих составов бетона;

назначение номинального состава П-бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества при минимальном расходе связующего.

4.2. Подбор номинального состава П-бетона производится согласно требованиям разд.3 ГОСТ 27006-86 с учетом указаний настоящих Рекомендаций.

4.3. Приготовление опытных замесов производят в лабораторном смесителе принудительного действия, снабженном подогревом (для полимерсерных бетонов). Приготовление опытных замесов объемом до 15 л допускается производить вручную на противне.

4.4. Приготовление опытных замесов полимербетонов начинают с перемешивания сухих материалов, а затем постепенно добавляют в замес назначенное количество связующего и перемешивают до получения однородной массы. В последнюю очередь добавляют необходимое количество отвердителя.

Приготовление опытных замесов полимерсерных бетонов начинают с подогрева серы и заранее перемешанных сухих материалов до температуры 150 °С, а затем постепенно добавляют в замес назначенное количество расплавленной серы.

#### Расчетно-экспериментальный способ определения начальных составов П-бетонов

4.5. Назначение начальных составов П-бетонов производят в следующем порядке:

а) по экспериментальным данным определяют оптимальную степень наполнения связующего (мономера или олигомера) мелкодисперсной фракцией наполнителя. Критерий оптимальности наполнения характеризуется максимальной прочностью образцов, изготовленных из заданного вида мастики (рис.2);

б) расчетным путем определяют среднюю приведенную толщину поли-

мерной или серной клеящей пленки;

в) расчетным путем определяют оптимальное соотношение между заполнителями и их количество;

г) экспериментально-расчетным путем определяют удельную поверхность заполнителей;

д) расчетным путем определяют количество связующего для П-бетонов известного гранулометрического состава.

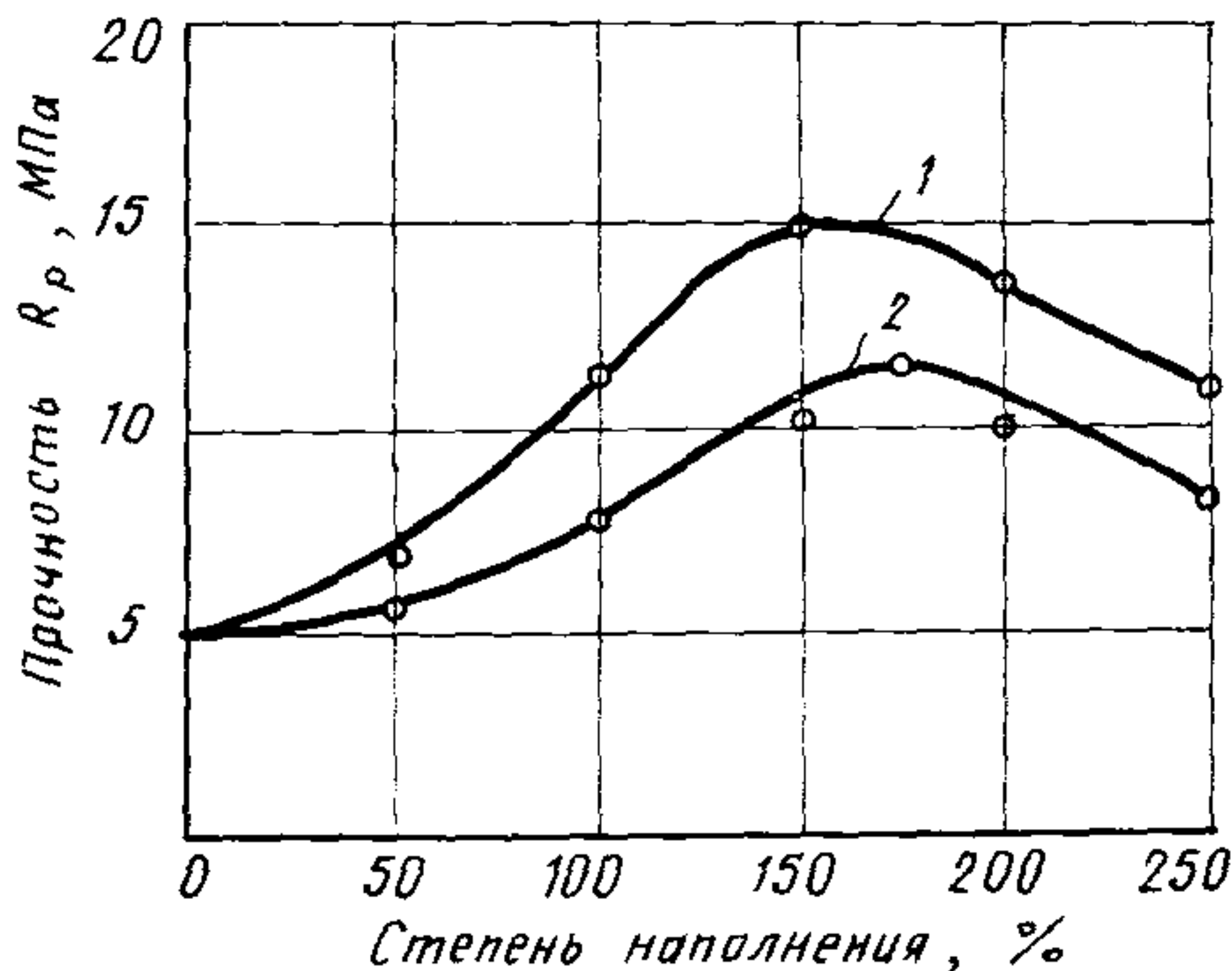


Рис. 2. Изменение прочности на сжатие полимерных мастик ФАМ в зависимости от вида наполнителя и степени наполнения

1 - с андезитом; 2 - с графитом

И - с андезитом; 2 - с графитом  
 тической вязкости смолы к вязкости смолы, равной 20 с по ВЗ-4, принятой за эталон.

4.7. Расчет составов П-бетонов проводится с определения количества мономера, олигомера или серы для оптимального состава мастики, кг.

Для полимерных мастик

$$m_{св} = (S_n \cdot m_n \cdot \rho_{св} \cdot \delta \cdot \eta_{усл}) \cdot 10^{-3}; \quad (3)$$

В зависимости от степени наполнения связующего минеральными наполнителями определяют среднеприведенную толщину пленки связующего (рис. 1 и 2).

Для полимербетонов

$$\delta = \frac{m_{св} \cdot \eta_{усл}}{S_n \cdot m_n \cdot \rho_{св}}, \quad (1)$$

для полимерсерных бетонов

$$\delta = \frac{m_{св}}{S_n \cdot m_n \cdot \rho_{св}}, \quad (2)$$

где  $\delta$  - толщина пленки связующего, см;  $m_{св}$  - масса связующего, г;  $m_n$  - масса наполнителя, г;  $S_n$  - удельная поверхность наполнителя, см<sup>2</sup>/г;  $\rho_{св}$  - плотность связующего, г/см<sup>3</sup>;

$\eta_{усл}$  - отношение фак-

для полимерсерных мастик

$$m_{св} = (S_n \cdot m_n \cdot \rho_{св} \cdot \delta) \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где  $S_n$  - удельная поверхность наполнителя,  $\text{см}^2/\text{кг}$ ;  $m_n$  - масса наполнителя,  $\text{кг}$ ;  $\rho_{св}$  - плотность серного связующего,  $\text{кг}/\text{дм}^3$ .

Расчеты, подтвержденные экспериментально, показывают, что оптимальное соотношение наполнитель:связующее ( $m_n : m_{св}$ ) находится в следующих пределах:

для мастик на основе эпоксидной смолы ЭД-20 .....	1,0-1,5
то же, фурановой смолы ФАМ .....	1,5-2,0
" ФАЭД .....	2,0-2,5
" метилметакрилата ММА .....	3,0-3,5

4.8. Для известного гранулометрического состава сухой смеси заполнителей оптимальное количество связующего,  $\text{кг}$ , определяется следующим образом.

Для полимербетонов

$$M_{пб} = [K (S_1 m_1 + S_2 m_2 + S_3 m_3) \rho_{св} \delta \eta_{усл}] \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

для полимерсерных бетонов

$$M_{псб} = [K (S_1 m_1 + S_2 m_2 + S_3 m) \rho_{св} \delta] \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  - удельная поверхность заполнителей различных фракций (щебень крупный, щебень мелкий, песок),  $\text{см}^2/\text{кг}$ ;  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  - масса заполнителей различных фракций,  $\text{кг}$ ;  $K$  - коэффициент, учитывающий увеличение количества связующего, необходимое для раздвижки зерен заполнителя мастикой.  $K = 1,05$ .

4.9. Удельная поверхность наполнителей определяется по ГОСТ 310.3-76.

Удельную поверхность заполнителей (песка, щебня), с достаточной для практических целей точностью, можно вычислить по ситовому анализу:

$$S_{уд.п} = 0,06 \left( a_1 \frac{q_1 K_1}{\rho_{п1}} + a_2 \frac{q_2 K_2}{\rho_{п2}} + a_3 \frac{q_3 K_3}{\rho_{п3}} + a_4 \frac{q_4 K_4}{\rho_{п4}} + a_5 \frac{q_5 K_5}{\rho_{п5}} \right), \quad (7)$$

$$S_{уд.щ} = 0,06 \left( a_1 \frac{q_1 K_1}{\rho_{щ1}} + a_2 \frac{q_2 K_2}{\rho_{щ2}} + a_3 \frac{q_3 K_3}{\rho_{щ3}} + a_4 \frac{q_4 K_4}{\rho_{щ4}} + a_5 \frac{q_5 K_5}{\rho_{щ5}} \right), \quad (8)$$

где  $S_{уд.п}$  и  $S_{уд.щ}$  - удельная поверхность песка и щебня соответ-

венно,  $\text{см}^2/\text{кг}$ ;  $a$  - коэффициент пустотности заполнителей;  
 $q_1, \dots, q_5$  - остаток заполнителя, г, (при навеске 1 кг) на ситах с отверстиями соответственно 2,5; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 мм - для песка и на ситах с отверстиями соответственно 5; 10; 20; 30; 40 мм - для щебня;  $\rho_n$  и  $\rho_{щ}$  - удельная плотность песка и щебня, соответственно,  $\text{кг}/\text{дм}^3$ ;  $K_1, \dots, K_5$  - коэффициенты геометрической формы заполнителя.

Значения коэффициентов "а" и "К" принимаются по таблицам: а - по табл.4; К - по табл.5.

Удельная поверхность наиболее распространенных наполнителей и заполнителей приведена в табл.6.

4.10. При проектировании и расчете начальных составов П-бетонов гранулометрический состав сухой смеси заполнителей обычно неизвестен и подлежит определению.

Исходя из условий получения П-бетонов с минимальной пористостью прочностью и достаточно хорошей удобоукладываемостью при наименьшем расходе связующего, выбор составов сухой смеси производится по методу полупрерывистой гранулометрии.

Примечание. Сущность полупрерывистой гранулометрии заключается в том, что наполнитель (минеральная мука) и песок имеют естественную непрерывную гранулометрию, а щебень строго фракционируется в соответствии с теорией плотной упаковки.

4.11. Для получения плотного и достаточно пластичного П-бетона необходимо, чтобы полимерная мастика заполнила все пустоты между зернами песка и щебня и раздвинула их на величину, равную оптимальной толщине связующего. При этом одна массовая часть мастики может заполнить пустотность следующего количества песка:

$$M_n = \rho_n \frac{\frac{1}{\rho_n} - \frac{m_{см}}{m_n}}{V_0 + d} = (1,3 \dots 1,4) \frac{0,375 + 0,4}{0,4 + 0,5} = 1,12 \dots 1,20, \quad (9)$$

где  $M_n$  - расчетное количество песка, кг;  $\rho_n$  - средняя плотность песка,  $\text{кг}/\text{л}$ ,  $\rho_n = 1,3 - 1,4 \text{ кг}/\text{л}$ ;  $\rho_n$  - удельная плотность наполнителя (муки),  $\text{кг}/\text{л}$ ;  $m_{см}$  - масса смолы или серы, кг;  $m_n$  - масса наполнителя, кг;  $V_0$  - объем пустот в песке, л;  $V_0 = 0,4 \text{ л}$ ;  $d$  - коэффициент удобоукладываемости, равный 0,5.

Таблица 4

Вид заполнителя	Значение коэффициента $\alpha$ при стандартном наборе сит				
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$
Кварцевый песок	2,70	5,40	11,00	22,30	44,50
Щебень	1,33	0,67	0,40	0,29	0,20

Таблица 5

Вид заполнителя	Значение коэффициента $K$ при размерах зернового состава заполнителя, мм									
	Песок					Щебень или гравий				
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
	2,5-5	1,2-2,5	0,6-1,2	0,3-0,6	0,3-0,15	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Кварцевый песок (речной)	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15	-	-	-	-	-
Щебень из базальта, гранита и других горных пород	-	-	-	-	-	1,80	1,85	1,85	1,85	1,85
Гравий речной	-	-	-	-	-	1,43	1,50	1,55	1,60	1,60



Таблица 6

Вид заполни- теля и на- полнителя	Размер фракций, мм												
	40-20			20-10			10-5			3-0,15		мука	
	удельная		пори- стость	удельная		порис- тость,	удельная		порис- тость,	удельная		удельная	
	плот- ность, г/см <sup>3</sup>	поверх- ность, см <sup>2</sup> /г		плот- ность, г/см <sup>3</sup>	поверх- ность, см <sup>2</sup> /г		плот- ность, г/см <sup>3</sup>	поверх- ность, см <sup>2</sup> /г		плот- ность, г/см <sup>3</sup>	поверх- ность, см <sup>2</sup> /г	плот- ность, г/см <sup>3</sup>	поверх- ность, см <sup>2</sup> /г
Гранитный щебень	2,65	1,35	0,90	2,67	2,70	0,85	2,67	5,40	0,83	-	-	-	-
Базальтовый щебень	2,67	1,40	3,70	2,64	2,72	3,40	2,64	5,43	3,40	-	-	-	-
Известня- ковый щебень	2,60	1,41	1,27	2,60	2,82	1,20	2,60	5,40	1,20	-	-	-	-
Гравий речной	2,60	1,16	1,64	2,60	2,31	1,60	2,60	4,38	1,52	-	-	-	-
Песок квар- цевый	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,65	140	-	-
Андезито- вая мука	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,60- 2,70	2100- 3300
Кварцевая мука	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,50- 2,65	2500- 3200
Графитовая мука	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,30- 2,60	3800

4.12. Таким образом, для получения плотного П-бетона с двумя фракциями щебня (расчетная пустотность 42,4 %) одна массовая часть мастики и 1,12...1,2 массовых частей песка должны заполнить 42,4 % пустот образованных щебнем. Пересчитав полученные значения в процентах, получим, что для заполнения 42,4 % образованных щебнем пустот мастики требуется 20 %, а песка 22,4 %. В окончательном виде средние значения составов тяжелых П-бетонов ( $\rho = 2300-2400 \text{ кг/м}^3$ ) на основе полиэфирных и фурановых смол приведены в табл.7.

Таблица 7

Составляющие	Содержание, %	
	ФАМ	ПН
Щебень гранитный, $D_1$	50-51	50-51
То же, $D_2$	3,0-3,5	3,0-3,5
Песок кварцевый	22-23	22-23
Наполнитель	12-12,5	12-12,5
Фурфуролацетоновая смола (ФАМ)	8-9	-
Бензолсульфокислота (БСК)	1,5	-
Кремнефтористый натрий	1,5-2,0 от массы смолы	-
Полиэфирная смола ПН-I	-	8-9
Гипериз	-	4 от массы смолы
Нафтенат кобальта	-	8 от массы смолы

4.13. Для различных месторождений и способов переработки характерны специфическая геометрическая форма и определенная удельная поверхность зерен песка и щебня. Кроме того, необходимо учитывать влияние краевого эффекта, так как в отличие от геометрической модели с бесконечной укладкой шаров реальные конструкции имеют определенные размеры. В этом случае вокруг зерен заполнителя, граничащих с плоскостью формы или оснастки, группируется меньшее число зерен, эквивалентных соответствующим пустотам, или размеры этих пустот отличаются от размеров пустот в объеме изделия. Поэтому составы сухих смесей заполнителей, полученные расчетным путем в производственных условиях должны уточняться в каждом конкретном случае.

4.14. Для уточнения оптимального состава заполнителей по наибольшей плотности в сухом состоянии рекомендуется использовать при-

бор, схема которого представлена на рис.3.

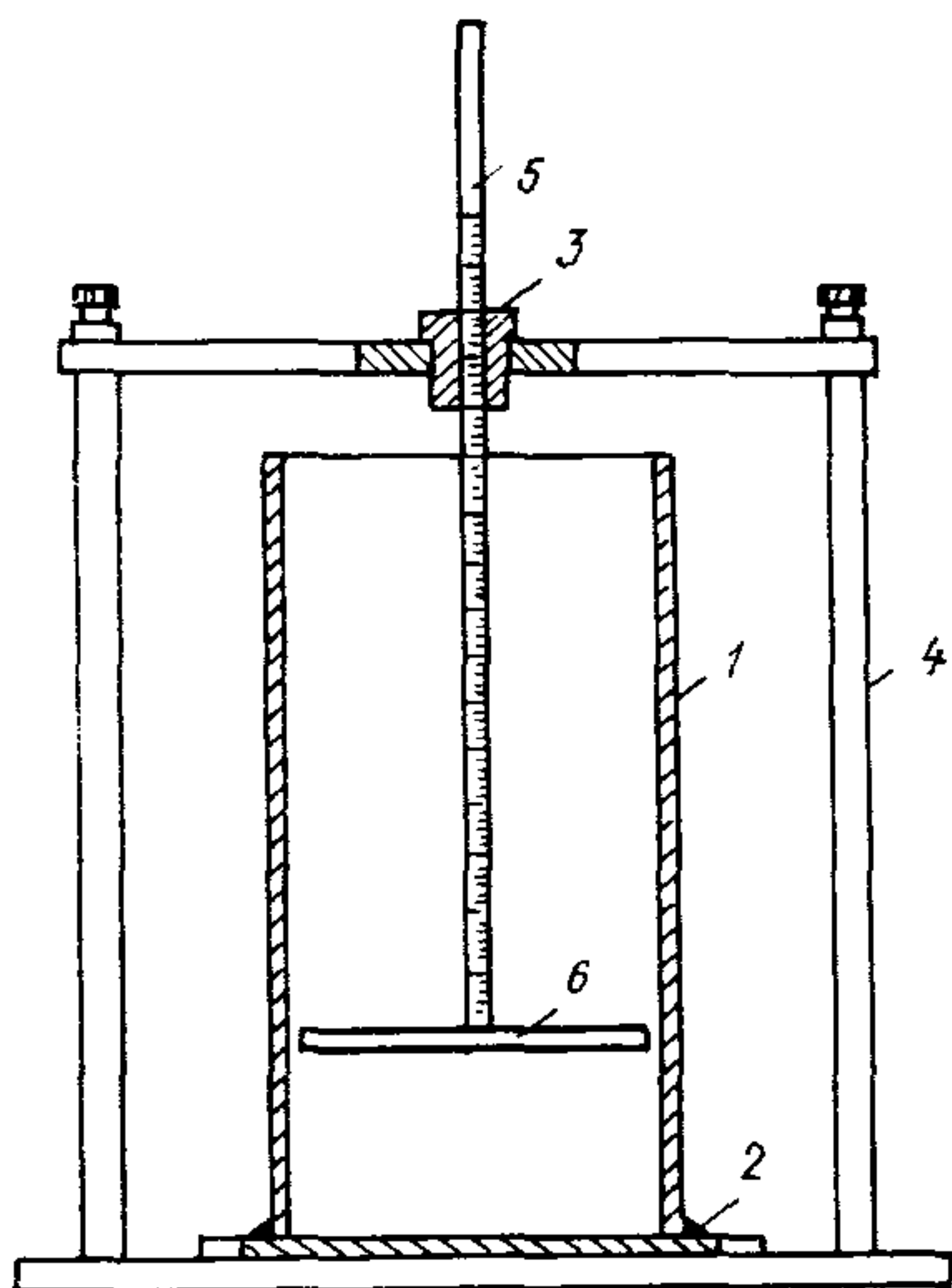


Рис.3. Схема прибора для подбора наиболее плотной смеси фракций заполнителей

1 - съемный цилиндр диаметром 160 и высотой 400 мм; 2 - основание цилиндра; 3 - направляющая втулка; 4 - стойки; 5 - свободно перемещающийся шток; 6 - диск, жестко закрепленный к штоку

В съемный цилиндр прибора насыпаются определенные объемы щебня двух фракций, которые смешиваются и виброуплотняются.

По разности между суммой объемов до смешивания и объемов, полученных после смешивания и виброуплотнения, строится график изменения плотности сухой смеси (рис.4.).

Максимальная плотность смеси соответствует наиболее плотной упаковке двух фракций. Принимая за постоянное значение массу смеси двух ранее взятых фракций, к ней добавляют массу третьей (более мелкой фракции) и определяют максимальную массу. Таким образом, можно последовательно осуществить подбор сухого состава заполнителей с любым количеством фракций.

Примечания. 1. Прибор струбцинами крепится к плите лабораторного вибростола.

2. При внутреннем диаметре цилиндра 160 мм максимальный размер щебня не должен превышать 50 мм.

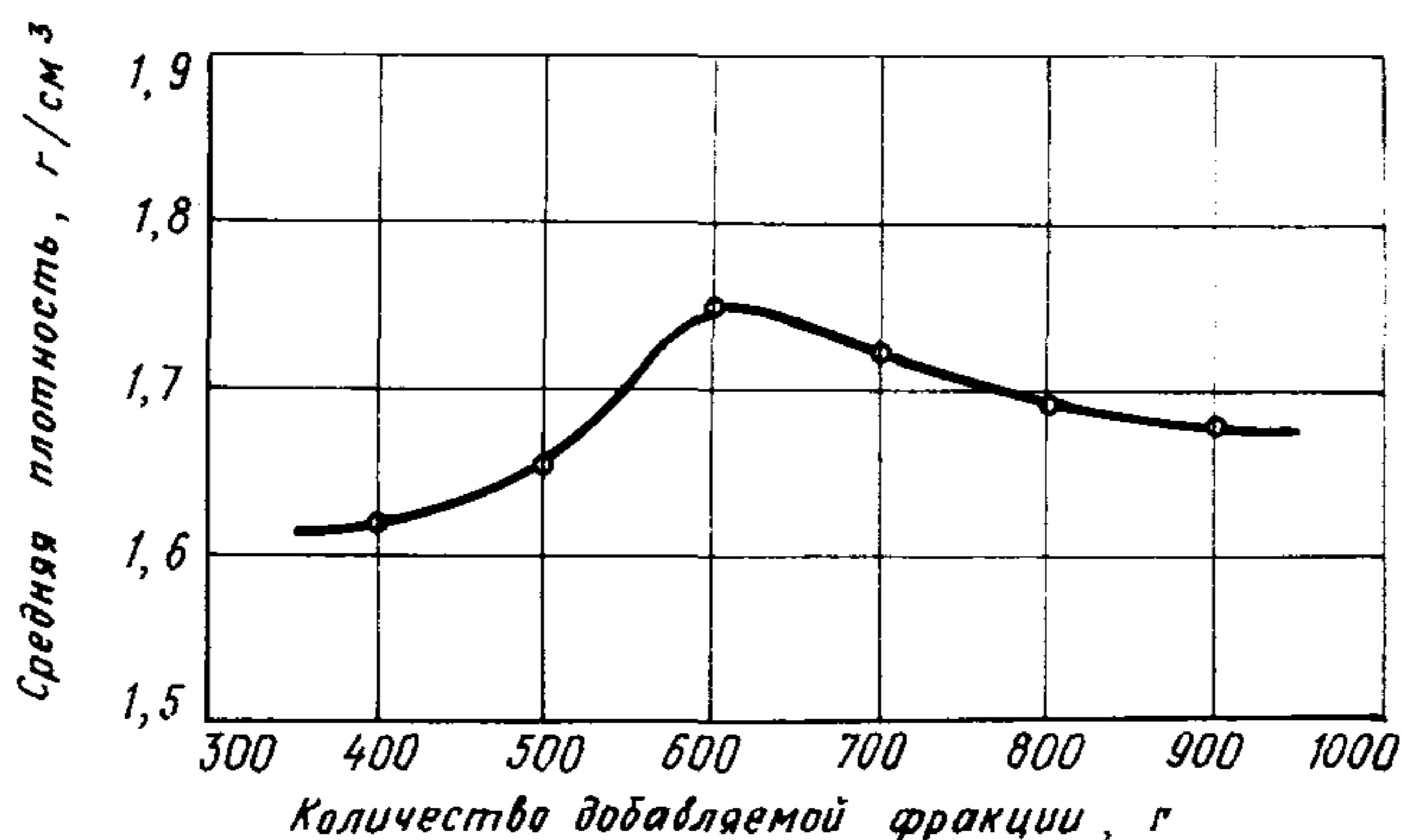


Рис.4. Изменение средней плотности сухой смеси щебня крупной фракции в зависимости от количества щебня более мелкой фракции

## 5. КОРРЕКТИРОВКА НОРМАЛЬНЫХ СОСТАВОВ П-БЕТОНОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И УСАДОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

5.1. При отверждении термореактивных синтетических смол за счет экзотермических реакций полимеризации или поликонденсации общее количество выделяемого тепла составляет от 250 до 590 кДж/кг. Ненаполненные полиэфирные, фурфуролацетоновые, и многие другие синтетические смолы и мономеры не могут быть отверждены в значительных объемах, так как в процессе полимеризации или поликонденсации они разогреваются до 250–300 °С. При такой температуре может наступить термическая деструкция полимера и появляются большие температурные напряжения, которые полностью разрушают изделие.

5.2. Перед организацией выпуска новых изделий для каждой конкретной конструкции необходимо рассчитать максимальные температурные напряжения и сравнить их с временным сопротивлением полимербетона растяжению.

$$\sigma_t = \frac{(\alpha \Delta t_{\text{МАК}} - \alpha_0 t_1)(E_{\text{ПБ}} - K t_{\text{МАК}}) \cdot 10^3}{1 - \mu} \psi, \quad (10)$$

где  $\sigma_t$  – температурные напряжения, МПа;  $E_{\text{ПБ}}$  – модуль упругости полимербетона, МПа;  $K$  – коэффициент, равный 0,95 МПа/°С;  $t_1$  и  $t_{\text{МАК}}$  – температура саморазогрева на поверхности и в центре се-

чения соответственно,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha$  – коэффициент температурных деформаций,  $1/^{\circ}\text{C}$ ;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\psi$  – коэффициент релаксации температурных напряжения, равный 0,6–0,7.

5.3. Если температурные напряжения окажутся выше допустимых, необходимо пересмотреть номинальный состав полимербетона и снизить количество связующего. Если по технологическими или другим условиям снизить количество связующего не представляется возможным, следует изменить геометрическую форму конструкции таким образом, чтобы улучшить теплообмен с окружающей средой. Весьма эффективным способом является образование конструктивных пустот или полостей, так как наличие пустот и более развитая поверхность конструкции обуславливают снижение общего объема полимербетона, укладываемого в форму, и улучшают теплообмен с окружающей средой.

5.4. Усадочные деформации, не проявляющиеся в процессе отверждения полимербетонов и полимерсерных бетонов, вызывают появление внутренних усадочных напряжений. При этом на поверхности конструкции развиваются напряжения сжатия, а в центре сечения – напряжения растяжения. Эти напряжения в ряде случаев могут привести к появлению усадочных трещин.

5.5. Максимальные усадочные напряжения армированных П-бетонов могут быть определены по формуле

$$\sigma_{ус} = \frac{y_{ост} E_{пб} A \psi_1}{(1 - \mu)(1 + m) \cdot 10^3}, \quad (II)$$

где  $\sigma_{ус}$  – усадочные напряжения, МПа;  $y_{ост}$  – величина остаточной, не проявившейся усадки П-бетона, мм/м,  $y_{ост} = y_{мак} - y_{пр}$ ;  $y_{мак}$  – максимальная усадка ненаполненного связующего, мм/м;  $y_{пр}$  – проявившаяся усадка П-бетона, мм/м;  $E_{пб}$  – модуль упругости П-бетона, МПа;  $A$  – величина упругих деформаций, мм/м, (0,3–0,4);  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\psi_1$  – коэффициент релаксации усадочных напряжений, (0,4–0,6);  $m$  – коэффициент приведения, определяемый по формуле

$$m = \frac{E_{пб} \cdot 10^2}{E_{ст} \nu},$$

где  $E_{ст}$  – модуль упругости стали, МПа;  $\nu$  – коэффициент армирования конструкции, %.

5.6. Для П-бетонных конструкций, работающих на растяжение и изгиб, усадочные напряжения наиболее опасны, так как в этом случае возможно наложение напряжений от внешних силовых нагрузок на усадочные напряжения и в материале могут появиться усадочные трещины.

Для снижения критических величин усадочных напряжений в состав полимербетонов необходимо вводить поверхностно-активные вещества (ПАВ) типа алкамона или октадециламина в количестве 1-2 %. Для полимерсерных бетонов следует использовать модификаторы типа хлорпарафина ХП-1100, тиокола или дициклопентадиена.

## 6. МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАЧАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ С ФИКСИРОВАННЫМ ЩЕБЕНОЧНЫМ КАРКАСОМ

6.1. Технология формования с фиксированным щебеночным каркасом распространяется на мелкогабаритные детали прямоугольной формы типа плит, стоек, направляющих и т.п.

6.2. Эта технология позволяет совместить в единую операцию процессы приготовления смеси и ее формования.

6.3. Использование технологии формования с фиксированным щебеночным каркасом обеспечивает сокращение расхода связующего, снижение усадки, повышение стабильности геометрических размеров и прочностных характеристик.

6.4. Формование деталей из полимербетонов с фиксированным щебеночным каркасом производят в следующей последовательности:

укладка отдозированного количества щебня в форму и уплотнение его вибрированием в течение 2-3 мин;

фиксация уплотненного щебеночного каркаса перфорированной крышкой;

заполнение пустот в щебеночном каркасе полимерраствором.

6.5. Подбор начального состава полимербетона с фиксированным щебеночным каркасом осуществляют в следующей последовательности:

определение оптимального состава клеящей мастики и отношения наполнителя к мономеру или олигомеру ( $m_n : m_{cb}$ );

подбор фракционного состава щебня и определение пустотности при укладке его в форму;

расчет состава растворной части полимербетона, исходя из пустотности щебеночного каркаса.

6.6. В соответствии с пунктом 4.7 настоящих Рекомендаций, по формуле (3) определяют количество мономера или олигомера для полу-

чения оптимального состава полимерной мастики с учетом коэффициента 0,6-0,7.

6.7. Пустотность щебеночного каркаса определяется по формуле

$$\Pi_{щ} = 1 - (1 - \Pi_o \rho) \cdot f, \quad (13)$$

где  $\Pi_o$  - пустотность щебня фракции 10-20 мм, определяется в емкости 10x10x10 см;  $f$  - эмпирический коэффициент, учитывающий уменьшение пустотности щебня за счет использования двухфракционного состава. В диапазоне

$$\frac{m_{5-10}}{m_{10-20}} = 0,2 \dots 0,7 \text{ значение } f = 1,02;$$

$\rho$  - коэффициент, учитывающий изменение пустотности в зависимости от размеров формы детали.

$$\rho = 1 - \left( f_1 - \frac{l_{min}}{V_{\varphi}} \right) f_2 \quad (14)$$

$l_{min}$  - минимальный размер формы, м;  $V_{\varphi}$  - объем формы, м<sup>3</sup>;  
 $f_1, f_2$  - эмпирические коэффициенты, равные  $f_1 = 0,01 \text{ л/м}^2$ ;  
 $f_2 = 7,65-7,7 \text{ м}^2$ .

6.8. Расход щебня  $M_{щ}$ , т, на одну форму (деталь) определяется по формуле

$$M_{щ} = (1 - \Pi_{щ}) V_{\varphi} \cdot \rho_{щ}, \quad (15)$$

где  $\Pi_{щ}$  - пустотность щебня, определенная по формуле (13);  $V_{\varphi}$  - объем формы, детали, м<sup>3</sup>;  $\rho_{щ}$  - плотность щебня, т/м<sup>3</sup>.

6.9. Количество полимерраствора, т, для заполнения пустот щебеночного каркаса, определенных по п.6.5 настоящих Рекомендаций, находится в зависимости от  $\Pi_{щ}$ . При этом количество песка  $M_{п}$ , т, в составе полимерраствора определяется по формуле

$$M_{п} = V_{\varphi} \cdot \Pi_{щ} \cdot \rho_{п} \cdot K_{з.п}, \quad (16)$$

где  $\rho_{п}$  - плотность песка, т/м<sup>3</sup>;  $K_{з.п}$  - коэффициент заполнения пустот в щебеночном каркасе песком.

6.10. Значение  $K_{з.п}$  зависит от формы зерен песка, вида связующего и отношения наибольших диаметров щебня и песка ( $d_{щ}/d_{п}$ ), которое должно быть не менее 16.  $K_{з.п}$  принимается по табл.8.

Таблица 8

$\frac{d_{\text{ш}}}{d_{\text{п}}}$	$K_{з.п}$			
	Дробленый песок		Речной песок	
	ММА	ФАЭД	ММА	ФАЭД
16	0,530	0,387	0,630	0,460
32	0,570	0,415	0,680	0,490
64	0,580	0,430	0,700	0,500

6.11. Количество мастики  $M_M$ , т, определяется из выражения

$$M_M = P_{\text{ш}} (1 - K_{з.п}) V_{\text{ф}} \rho_M, \quad (17)$$

где  $\rho_M$  - плотность мастики, т/м<sup>3</sup>.

6.12. Оптимальное соотношение наполнитель:связующее ( $m_n : m_{св}$ ) определенное в соответствии с п.4.7, находится в следующих пределах:

для полимербетона на ММА ..... 1,1-1,3

для полимербетона на ФАЭД ..... 0,8-1,0

#### ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

##### А. Исходные материалы:

1. Щебень гранитный фракции 5-10 мм, пустотность  $P_{\text{ш}} = 0,4$ ; плотность  $\rho_{\text{ш}} = 2,6$  т/м<sup>3</sup>.
2. Песок дробленый гранитный;  $d_{\text{ш}} / d_{\text{п}} = 16$ ; размер зерен 0,3-0,6 мм;  $\rho_{\text{п}} = 2,6$  т/м<sup>3</sup>.
3. Мука диабазовая,  $\rho_{\text{н}} = 2,8$  т/м<sup>3</sup>.
4. Связующее - компаунд на ММА,  $\rho_{св} = 1$  т/м<sup>3</sup>.

Количество щебня на 1 м<sup>3</sup> формы ( $V_{\text{ф}} = 1$ ) определяем по формуле (15):

$$M_{\text{ш}} = (1 - P_{\text{ш}}) V_{\text{ф}} \rho_{\text{ш}} = (1 - 0,4) \cdot 1,0 \cdot 2,6 = 1,56 \text{ т.}$$

Количество песка определяем по формуле (16):

$$M_{\text{п}} = V_{\text{ф}} \cdot P_{\text{ш}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot K_{з.п} = 1 \cdot 0,4 \cdot 2,6 \cdot 0,53 = 0,55 \text{ т.}$$

Принимаем соотношение между количеством наполнителя и связующего равным 1,3; плотность мастики  $\rho_M = 1,57$  т/м<sup>3</sup>.



Количество мастики находим по формуле (17):

$$M_M = \Pi_{щ} (1 - K_{з.п}) V_{ф} \rho_M = 0,4 \cdot 0,47 \cdot 1 \cdot 1,57 = 0,3 \text{ т.}$$

Количество связующего и наполнителя:

$$M_{св} = 0,3 \cdot \frac{1,3}{2,3} = 0,17 \text{ т.}$$

$$M_n = 0,3 \cdot \frac{1}{2,3} = 0,13 \text{ т.}$$

Расход составляющих на 1 м<sup>3</sup> полимербетона приведен в табл. 9 и 10.

Таблица 9

Составляющие	Расход на 1 м <sup>3</sup> полимербетона		
	по массе		по объему
	кг	%	%
Щебень	1560	64,7	60
Песок	550	22,8	21,2
Наполнитель	170	7,1	6,0
Компаунд ММА	130	5,4	12,8

Таблица 10

Составляющие	Расход на 1 м <sup>3</sup> полимербетона		
	по массе		по объему
	кг	%	%
Щебень	1560	66,4	60
Песок	400	17,0	15,5
Наполнитель	195	8,3	7,0
ФАЭД	195	8,3	17,5

Б. Исходные материалы - те же, что в А, кроме связующего. Связующее - ФАЭД,  $\rho_{св} = 1,126 \text{ т/м}^3$ ,  $M_{щ} = 1,56 \text{ т.}$

$$M_n = V_{ф} \cdot \Pi_{щ} \cdot \rho_n \cdot K_{з.п} = 1 \cdot 0,4 \cdot 2,6 \cdot 0,387 = 0,40 \text{ т.}$$

Соотношение  $m_n : m_{св}$  принимаем равным 1,  $\rho_M = 1,61 \text{ т/м}^3$ .

$$M_M = \Pi_{щ} (1 - K_{з.п}) V_{ф} \rho_M = 0,4 \cdot 0,613 \cdot 1 \cdot 1,61 = 0,39 \text{ т.}$$

$$M_{св} = M_n = \frac{0,39}{2} = 0,195 \text{ т.}$$

## ТЕРМИНОЛОГИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ П-БЕТОНОВ

1. Из общей группы П-бетонов в настоящих Рекомендациях рассматриваются методы подбора составов только полимербетонов и полимерсерных бетонов (см. упрощенную схему рис.5).

2. Под полимербетонами понимаются бесцементные составы на основе синтетических смол (мономеров или олигомеров) с преимущественно кислотостойкими заполнителями и наполнителями различной дисперсности.

3. Полимербетоны и полимерсерные бетоны содержат в своем составе три фракции наполнителей и заполнителей: тонкодисперсные наполнители с размером частиц менее 0,15 мм и удельной поверхностью 2500–3000 см<sup>2</sup>/г, заполнители – песок с модулем крупности от 2 до 3 и щебень с размером зерен до 40 мм. В отличие от полимербетона полимерраствор (мелкозернистый полимербетон) не содержит в своем составе щебня. Полимерные мастики содержат только одну тонкодисперсную фракцию наполнителя.

4. Полимербетоны и полимеррастворы классифицируются следующим образом: для неармированных материалов после наименования "полимербетон" указывается сокращенное название полимерного связующего и вид основного наполнителя. Для армированных материалов (армополимербетонов) перед названием указывается вид армирующего материала. Армирование полимербетонов и полимерсерных бетонов возможно стальной арматурой, рубленым стекловолокном и стеклопластиковой арматурой.

Например: полимербетон ФАМ на графите, сталеполимербетон ПН на андезите и т.п.

5. Под полимерсерными бетонами понимаются бесцементные составы, которые содержат наполнители и заполнители, аналогичные наполнителям и заполнителям для полимербетонов, а в качестве связующего – модифицированную серу.

6. В отличие от терминологии, принятой для силикатных материалов (вяжущее, твердение и т.п.), терминология применительно к П-бетонам включает следующие выражения:

связующее – представляет собой синтетическую смолу с отвердителями, ускорителями, а при необходимости – с пластификаторами, красителями и другими компонентами или модифицированную серу.

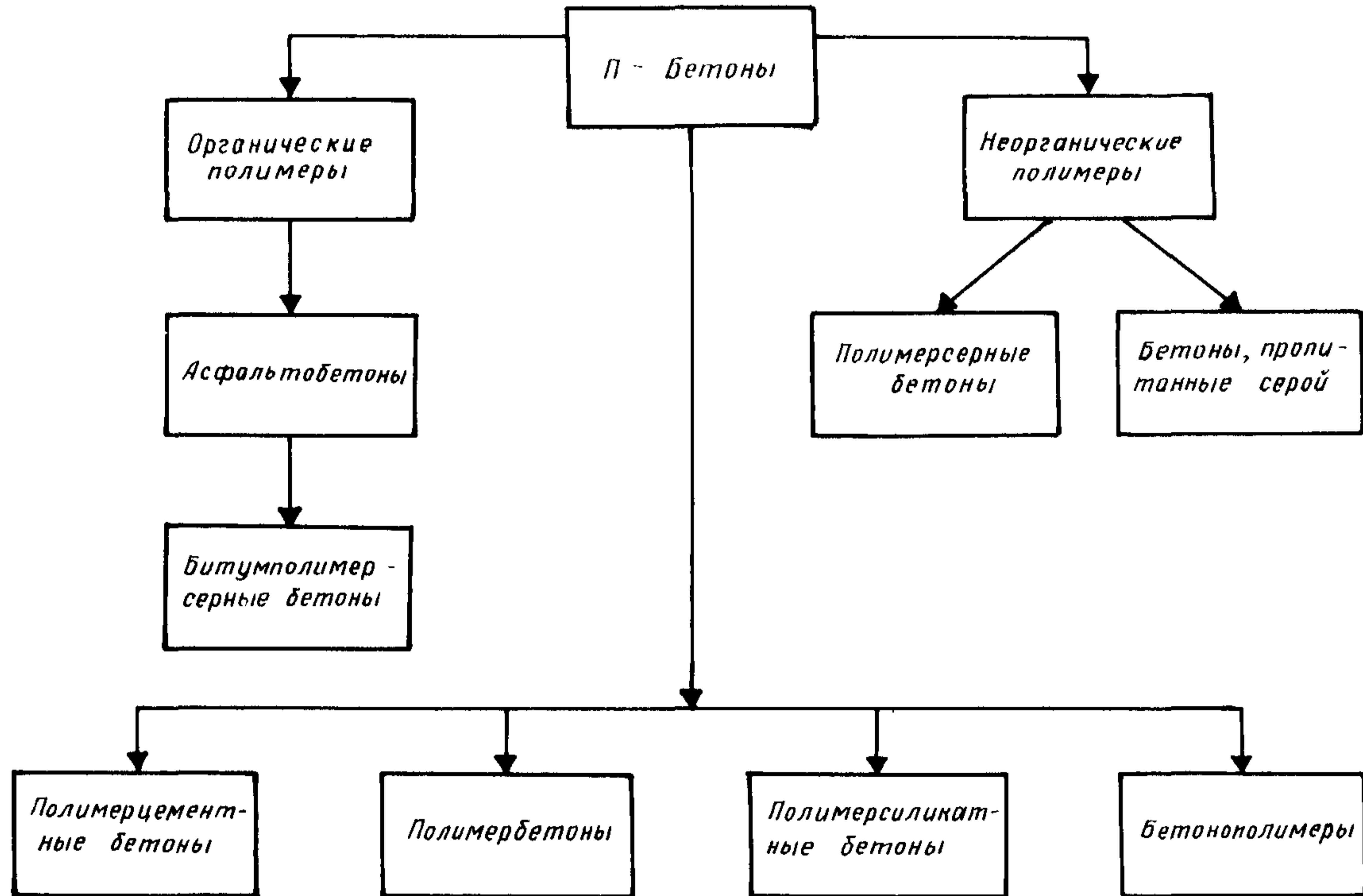


Рис.5. Схема классификации П-бетонов

отверждение - полимеризация или поликонденсация синтетического связующего. Применительно к полимерсерным бетонам, это остывание смеси до нормальной температуры и кристаллизации серы.

7. Полимербетоны и полимерсерные бетоны подразделяются по следующим признакам:

- основному назначению;
- виду связующего;
- виду заполнителей и наполнителей.

8. В зависимости от вида наполнителей и заполнителей и их зернового состава плотность этих бетонов может изменяться в широких пределах: от 0,4 до 4,0 т/м<sup>3</sup>. Поэтому основные свойства полимербетонов и полимерсерных бетонов характеризуются не только видом синтетического связующего, но и видом наполнителей и заполнителей. В "Рекомендациях" рассматриваются тяжелые с плотностью 2,2-2,4 т/м<sup>3</sup> и легкие с плотностью 1,2-1,8 т/м<sup>3</sup> П-бетоны.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие .....	3
1. Общие положения .....	4
2. Требования к материалам для приготовления П-бетонов .....	5
3. Исходные данные для расчета и подбора составов П-бетонов ..	9
4. Подбор номинальных составов П-бетонов .....	10
5. Корректировка номинальных составов П-бетонов с учетом влияния температурных и усадочных напряжений .....	19
6. Методика расчета начальных составов полимербетонов с фиксированным щебеночным каркасом .....	21
Приложение. Терминология и классификация П-бетонов .....	25

НИИЖБ Госстроя СССР

Рекомендации по подбору составов П-бетонов

Научный редактор И.М.Дробященко

Отдел научно-технической информации НИИЖБ

109389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6

Редактор Т.А.Кириллова

Подписано в печать 28 ноября 1986 Заказ № 506

Формат 60x84/16. Ротапринт. Усл.кр.-отт.1,7. Уч.-изд.л.1,7.

Т - 300 экз.

Цена 26 коп.

Типография ПЭМ ВНИИС Госстроя СССР

121471, Москва, Можайское шоссе, д.25