

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ  
НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
(СОЮЗДОРНИИ)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА  
ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ДОРОЖНОГО БЕТОНА**

**Москва 1978**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ  
НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
(СОЮЗДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА  
ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ДОРОЖНОГО БЕТОНА

*Одобрены Минтрансстроем*

Москва 1978

УДК 666.972.56:539.217.1:658.562

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ  
КАЧЕСТВА ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ДОРОЖНОГО БЕ-  
ТОНА. Союздорнии. М., 1978.**

На основе проведенных исследований для контроля качества поровой структуры дорожного бетона разра- ботана методика определения основных параметров поровой структуры дорожного бетона, а также методика определения характера открытой пористости бетона по кинетике водопоглощения и дан пример определения поровой структуры дорожного бетона.

Табл.2, рис.3.

## Предисловие

Долговечность цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов, в том числе морозостойкость, в значительной степени зависит от характера капиллярно-пористой структуры дорожного бетона.

Получение дорожного бетона гарантированной морозостойкости связано с созданием в структуре бетона с помощью добавок ПАВ определенного объема воздушных условно-замкнутых пор, образующих так называемую резервную пористость.

Формированию морозостойкой структуры бетона способствует не вовлеченный при перемешивании бетонной смеси, а остаточный после вибрационного уплотнения воздух, в связи с чем необходим контроль качества поровой структуры затвердевшего бетона и особенно объема условно-замкнутых пор. В этом направлении в Союзе проведены исследования, результаты которых нашли отражение в настоящих "Методических рекомендациях по контролю качества поровой структуры дорожного бетона".

В настоящих "Методических рекомендациях" приводится методика определения параметров поровой структуры бетона, открытой пористости бетона по кинетике водопоглощения и дан пример определения поровой структуры дорожного бетона.

Настоящие "Методические рекомендации" являются первым документом по контролю качества поровой структуры бетона, и одной из задач их применения в практике дорожного и аэродромного строительства является накопление опыта и экспериментальных данных в целях прогнозирования морозостойкости дорожного бетона без лабораторных испытаний на попеременное замораживание-оттаивание.

Применение в практике строительства настоящих "Методических рекомендаций" позволит получить достоверные данные о фактическом содержании условно-замкнутых и открытых пор, а также в необходимых случаях данные о показателях крупности пор и их однородности.

"Методические рекомендации" разработаны кандидатами технических наук А.М.Шейниным и В.И.Коршуновым при участии канд.техн.наук М.И.Бруссера.

В целях накопления опыта в прогнозировании морозостойкости дорожного бетона по результатам контроля качества поровой структуры Союздорнии просит ежегодно сообщать данные параллельных испытаний бетона на морозостойкость по ГОСТ 10060-76 и определенных параметров поровой структуры в соответствии с настоящими "Методическими рекомендациями".

Замечания и предложения по данной работе просьба направлять по адресу: 143900 Балашиха-6 Московской обл., Союздорнии.

## Общие положения

1. Настоящие "Методические рекомендации" предназначены для контроля качества поровой структуры дорожного цементобетона, используемого при строительстве покрытий автомобильных дорог и аэродромов в соответствии с действующими нормативными документами.

2. Положения настоящих "Методических рекомендаций" распространяются на дорожные бетоны, соответствующие требованиям ГОСТ 8424-72 "Бетон дорожный", а также на материалы для их приготовления, в том числе на крупный (щебень, гравий, щебень из гравия) и мелкий заполнители (природные кварцевые или кварцевополевошпатовые пески, дробленые пески) из плотных изверженных или осадочных пород с водопоглощением соответственно менее 0,5 и 1%.

3. Контроль качества поровой структуры бетона предусматривает установление соответствия параметров испытываемых образцов бетона требуемым в следующих случаях:

при подборе состава бетонной смеси;

при бетонировании;

в процессе строительства бетонных покрытий (не реже одного раза в квартал одновременно с испытанием бетона на морозостойкость по ГОСТ 10060-76 "Бетоны. Методы определения морозостойкости");

при приемке покрытия в эксплуатацию (по требованию заказчика);

в процессе наблюдений за состоянием эксплуатируемого покрытия.

4. Применение рекомендуемого метода контроля не исключает экспресс-метода для определения объема воздушных пор в бетонной смеси с помощью воздухомера.

5. Для контроля качества поровой структуры бетона необходимо определение следующих параметров:

суммарного (интегрального) объема пор  $\Pi_{\Sigma}$  ;

объема открытых (капиллярных) пор  $\Pi_K$  , т.е. доступных для заполнения водой при принятом режиме водонасыщения;

объема условно-замкнутых пор  $\Pi_z$  , т.е. не доступных при принятом режиме водонасыщения для заполнения водой. Объем пор  $\Pi_z$  соответствует объему воздушных пор, образованных вовлеченным в бетонную смесь воздухом.

6. Параметры поровой структуры бетона определяют на бетонных образцах в возрасте 28 суток. При необходимости объем условно-замкнутых пор  $\Pi_z$  можно определять на образцах в возрасте менее 28 суток.

7. Наряду с обязательными параметрами, дополни -

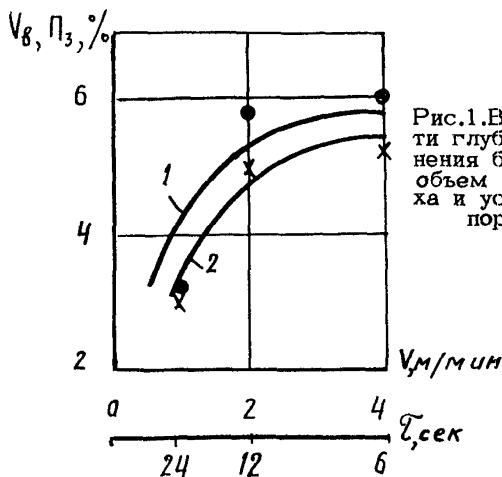


Рис.1. Влияние длительности глубинного виброуплотнения бетонной смеси на объем вовлеченного воздуха и условно-замкнутых пор в бетоне

тельно определяют условные показатели крупности пор и их однородности в соответствии с приложением I.

8. Для контроля поровой структуры бетона определяющим параметром является объем условно-замкнутых пор  $\Pi_z$ . Важность установления этого параметра вытекает из необходимости получения достоверной информации о фактическом содержании условно-замкнутых резервных пор в затвердевшем бетоне, поскольку не все вовлеченные при перемешивании бетонной смеси, а оставшиеся после вибрационного уплотнения пузырьки воздуха определяют морозостойкость и прочность бетона. Фактическое содержание условно-замкнутых пор в затвердевшем бетоне зависит от технологии производства работ и, в частности, от длительности вибрационного уплотнения смеси (рис.1).

#### Методика определения параметров поровой структуры бетона

9. Суммарный (интегральный) объем пор или показатель пористости  $\Pi_n$  (по ГОСТ 12730-67 "Бетон тяжелый. Методы определения объемной массы, плотности, пористости и водопоглощения") определяют по формуле

$$\Pi_n(\Pi) = \left( 1 - \frac{m_{\text{ж}}}{\rho} \right) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $m_{\text{ж}}$  - объемная масса бетона, высушенного до постоянной массы, г/см<sup>3</sup>;

$\rho$  - плотность (удельная масса) бетона, г/см<sup>3</sup>.



10. Объем открытых (капиллярных) пор  $\Pi_K$  вычисляют следующим образом:

$$\Pi_K = W_i \cdot \frac{m_{\mathcal{V}}^{\delta}}{\rho_{\delta}} \text{ или } \Pi_K = \frac{m - m_0}{\mathcal{V}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $W_i$  - водопоглощение образца, % по массе, с точностью до 0,1%, определяемое по формуле

$$W_i = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

$\rho_{\delta}$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>.  $\rho_{\delta} = 1$ ;

$m$  - масса водонасыщенного образца, г;

$m_0$  - масса образца, высушенного до постоянной массы, г;

$\mathcal{V}$  - объем образца-пробы, см<sup>3</sup>.

11. Объем воздушных условно-замкнутых пор  $\Pi_{\mathcal{Z}}$  определяют по формуле

$$\Pi_{\mathcal{Z}} = \Pi_{\Pi} - \Pi_K, \quad (4)$$

12. Средний радиус сечений условно-замкнутых (воздушных) пор и среднеквадратическое отклонение радиусов таких пор на шлифах затвердевшего бетона устанавливают по ГОСТ 22023-76 "Материалы строительные. Метод микроскопического количественного анализа структуры".

13. Показатели среднего размера открытых пор  $\bar{\lambda}_2$  и однородности этих пор по размерам  $\mathcal{L}$  можно определять по кинетике водонасыщения в соответствии с приложением 1.

14. Для определения рекомендуемых параметров поровой структуры на образцах бетона необходимо иметь:

весы с приспособлением для гидростатического взвешивания, обеспечивающие взвешивание образцов массой до 500 г с точностью до 0,1 г, а образцов массой более 500 г с точностью до 1,0 г;

сушильный шкаф, обеспечивающий заданный режим сушки (при 105–110°C) с точностью  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;

устройство для отсчета времени (часы, секундомер);

15. Для испытаний отбирают образцы-пробы определенных размеров и формы, чтобы исключить влияние размеров образца на результаты определений параметров поровой структуры бетона. Пробы отбирают из контрольных образцов-балок или кубов, формируемых при подборе состава смеси и при текущем контроле прочности бетона, а также из образцов-кернов, отобранных из бетонного покрытия. Количество проб в каждом случае должно составлять не менее трех, толщина их должна быть равна приблизительно 7 см.

16. Пробы бетона из контрольных образцов-балок или кубов отпиливают на камнерезных станках или откалывают на прессе с помощью двух металлических стержней так, чтобы сохранить поперечное сечение и е контрольного образца (рис.2).

Керны для отбора проб должны выпиливаться непосредственно из покрытия так, чтобы не нарушить структуру бетона (например, алмазным кругом).

Образцы-пробы бетона можно также откалывать или отпиливать от кернов бетона цилиндрической формы (см.рис.2), диаметр которых должен быть не менее 5 см, а высота отпиливаемой или откалываемой части – 7–10 см.

17. Для контроля качества поровой структуры бетона в покрытии важное значение имеет место отбора проб. Как правило, следует отбирать образцы из верхнего слоя покрытия. При необходимости оценки параметров пористости бетона по толщине покрытия образцы-пробы можно отбирать послойно с толщиной слоя приблизительно 7 см.

18. При определении показателей крупности и однородности пор рекомендуется использовать пробы бето-

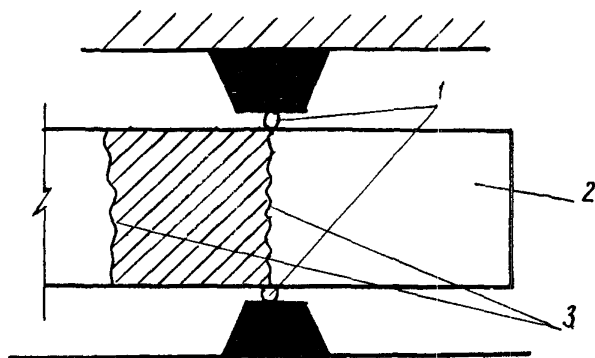


Рис.2. Схема откалывания образцов-проб от контрольных образцов бетона:

1-металлические стержни гладкие из высокопрочной стали  $\varnothing 5\text{мм}$ ; 2-контрольный образец-балка; 3-намечаемые плоскости раскола (заштрихован образец-проба)

на, имеющие форму, близкую к кубической, с ребром около 7 см.

19. Образцы-пробы бетона, предназначенные для определения параметров поровой структуры, должны иметь четкую несмываемую маркировку.

20. До начала испытания (до взвешивания) выявленные на образцах отдельные дефекты (раковины, трещины, посторонние включения и т.п.) следует зафиксировать в журнале испытаний. Резко выступающие места на поверхности образца должны быть устранены (например, шлифовкой), так как их разрушение в процессе испытаний будет искажать полученные результаты.

Поверхность образцов-проб должна быть очищена от пленкообразующих материалов, препятствующих водонасыщению бетона.

21. Подготовленные и высушенные до постоянной массы при температуре 105–110°C (по ГОСТ 12730-67) образцы-пробы охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием или силикагелем до комнатной температуры (20±2°C) и взвешивают на воздухе ( $m_0$ ). Затем образец-пробу помещают в воду, температура которой 20±2°C. Над образцом должен быть слой воды не менее 2 см. Через 5 суток<sup>х)</sup> непрерывного насыщения в воде образец вынимают из воды, обтирают влажной тканью и взвешивают на воздухе ( $m$ ) и затем в воде ( $m_1$ ).

Объем образца-пробы бетона  $V$  (в см<sup>3</sup>) определяют по формуле

$$V = m - m_1, \quad (5)$$

объемную массу бетона (в г/см<sup>3</sup>) в высушенном до постоянной массы состоянии – по формуле

$$m_V^{\delta} = \frac{m_0}{V}. \quad (6)$$

22. Плотность (удельную массу) бетона  $\rho$  (в г/см<sup>3</sup>) следует определять в обезвоженном керосине с помощью пикнометра по ГОСТ 12730-67.

Величину  $\rho$  устанавливают при подборе состава бетонной смеси и используют на всех стадиях контроля качества поровой структуры бетона.

23. Показатели поровой структуры бетона  $\Pi_{и}$ ,  $\Pi_{к}$  и  $\Pi_{\beta}$  рассчитывают по формулам (1)–(4) настоящих "Методических рекомендаций" с точностью до 0,1. Зна-

---

<sup>х)</sup> Для ускоренного определения параметров поровой структуры бетона допускается насыщать образец в течение одних суток.

чения параметров выбираются как средняя величина по результатам испытания трех образцов-проб (наибольшие и наименьшие показатели отбрасываются).

24. При контроле качества поровой структуры бетона в процессе строительства, при приемке в эксплуатацию и в процессе эксплуатации за эталонные принимают значения параметров поровой структуры бетона, полученные при подборе его состава.

Ориентировочные значения этих параметров приведены ниже:

Параметры	Значения параметров
Суммарный объем пор $\Pi_n$ , % . . . . .	15-20
Объем открытых пор $\Pi_k$ , % . . . . .	10-15
Объем условно-замкнутых пор $\Pi_z$ , % . . . . .	3-7
Показатель средней крупности пор $\bar{M}_2$ . . .	Не более 3
Показатель однородности пор по размерам $\alpha$ . Не более 1	

25. Качество поровой структуры дорожного бетона во всех случаях оценивают по величине  $\Pi_z$ .

В необходимых случаях поровую структуру можно оценивать по параметрам  $\Pi_n$  и  $\Pi_k$  при участии представителей Союздорнии.

26. Гарантированная морозостойкость дорожного бетона обеспечивается в том случае, если величина  $\Pi_z$  находится в пределах 5-6%. При значениях параметра  $\Pi_z$  менее 3% наблюдается существенное снижение морозостойкости, хотя прочность при этом может повыситься.

При величине параметра  $\Pi_z$  более 6% возможно снижение прочности бетона по сравнению с проектной. Получение бетона с проектной прочностью при этих значениях  $\Pi_z$  приводит к неоправданному увеличению расхода цемента.

Пример определения параметров поровой структуры дорожного бетона приведен в приложении 2.

**Методика определения параметров  
открытой пористости бетона  
по кинетике водонасыщения**

Методика основана на использовании явления капиллярного впитывания, заключающегося в том, что скорость поглощения капиллярами смачивающей жидкости прямо пропорциональна их радиусам  $r$ . Это справедливо при одинаковых физических параметрах жидкости и стенок капилляров, характеризуемых, в частности, вязкостью жидкости  $\eta$ , краевым углом смачивания  $\theta$ , поверхностным натяжением  $\sigma$ , углом наклона капилляра к горизонту  $\beta$ .

Анализ дифференциального уравнения движения смачивающей жидкости по капилляру показал, что наиболее простой элементарной функцией, описывающей этот процесс, является экспонента вида

$$\frac{W_t}{W_{max}} = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (1)$$

где  $\frac{W_t}{W_{max}}$  — степень заполнения капилляра в момент времени  $t$  или отношение величины поднятия жидкости через промежуток времени  $t$  после начала насыщения к величине максимального поднятия, определяемой формулой Жюрена;

$\lambda$  — показатель степени экспоненты, численно равный пределу отношения величины ускорения поднятия жидкости по капилляру к скорости этого поднятия, в свою очередь есть функция

$$\lambda = f(r; \eta; \theta; \beta). \quad (2)$$

В случаях насыщения одного и того же материала (например, цементного камня) одной и той же жидкостью (например, водой) все физические величины в правой части выражения (2), кроме радиуса капилляров, являются постоянными. Поэтому разница в величинах  $\bar{R}$  отражает разницу в радиусах капилляров. Так как величины  $\bar{R}$  легко определить по экспериментальным кривым водопоглощения, то появляется возможность количественной оценки пористости монокапиллярного материала по кинетике его насыщения по двум параметрам:  $W_{max}$  — объем капилляров и  $\bar{R}$  — показатель поперечного размера капилляра (радиуса).

При переходе от монокапиллярного материала, рассмотренного выше, к поликапиллярным материалам, к которым относятся все реальные строительные материалы, в том числе цементобетон, уравнение (1) преобразуется следующим образом:

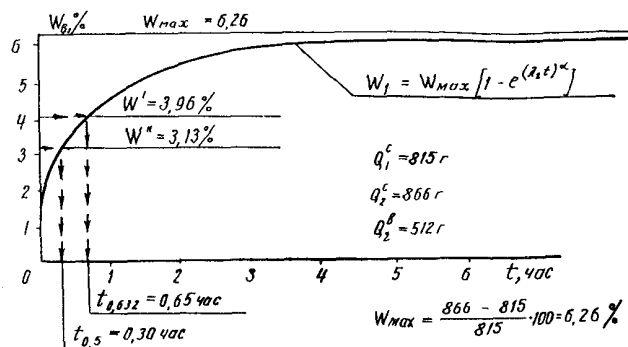
$$\frac{W_t}{W_{max}} = 1 - \exp\left(-\bar{R}_2 t\right)^\alpha, \quad (3)$$

где  $W_t$  — насыщение материала в момент времени  $t$ ;  
 $W_{max}$  — максимальное насыщение материалов в условиях опыта;  
 $\bar{R}_2$  — показатель среднего размера капилляров исследуемого материала;  
 $\alpha$  — показатель однородности размеров капилляров.

Для определения величины  $W$ ,  $\bar{R}_2$  и  $\alpha$  по экспериментальным кривым поглощения материалами смазывающей жидкости получены расчетные формулы и по ним построены номограммы (рис.3).

Для исследований цементного камня, раствора и бетона из жидкостей наиболее целесообразно использо-

Номограмма и пример расчета параметров пористости  
по кинетике водонасыщения материала



$$W_{max} = \frac{866 - 815}{815} \cdot 100 = 6,26 \%$$

$$\gamma = \frac{815}{866 - 512} = 2,31 \text{ г/см}^2$$

$$W_0 = 6,26 \cdot 2,31 = 14,5 \%$$

$$W' = 6,26 \cdot 0,632 = 3,96 \%$$

$$t_{0,632} = 0,65 \text{ час}; \bar{\lambda}_2 = 1,54; \bar{\lambda}_2 = \frac{1}{t_{0,632}}$$

$$W'' = 6,26 \cdot 0,5 = 3,13 \%$$

$$t_{0,5} = 0,30 \text{ час}; \alpha = 0,5$$

$\alpha$  по нормали



вать воду. Рекомендуемые образцы-кубы с ребром 7 см. Перед испытаниями образцы высушивают. Кинетику водопоглощения фиксируют либо непрерывным гидростатическим взвешиванием, либо дискретно в определенные моменты времени. Для определения параметров поровой структуры используется номограмма (см. рис.3)<sup>х)</sup>.

Параметры поровой структуры, определенные по кинетике водопоглощения, могут быть использованы для оценки влияния на структуру любых технологических и эксплуатационных факторов производства бетона и условий его эксплуатации, а также увязаны с определенными физико-механическими свойствами бетонов.

---

<sup>х)</sup> Построение полной кривой насыщения бетона водой допускается производить по отдельным точкам, получаемым путем взвешивания водонасыщаемых образцов через 10, 30, 60 мин, 2, 3, 4, 5 и 6 час, , 1, 2, 3, 4, 5 суток.

## Приложение 2

### Пример определения параметров поровой структуры бетона

Параметры поровой структуры для оценки свойств дорожного бетона при пробном бетонировании определяли на образце-пробе размером 15х15х7 см, отколо- том от контрольного образца-балки - 15х15х55 см, и образце-пробе, отколотом от верхней части керна диа- метром 13 см, высверленного из бетонного покрытия (возраст бетона 28 суток).

Результаты испытаний приведены в таблице.

Параметры	Образцы, от кото- рых взяты пробы	
	балка 15х15х55см	кern
Масса образца		
высушенного до постоянной		
массы $m_0$ , г	2493,2	781,3
взвешенного на воздухе $m$ , г	2601,9	821,0
Масса поглощенной воды, г	108,7	39,7
Масса образца, взвешенного в		
воде $m_1$ , г	1479,0	469,4
Объем образца-пробы $V$ , см <sup>3</sup>	1122,9	351,6
Объемная масса бетона $m_b^f$ , г/см <sup>3</sup>	2,22	2,22
Пористость бетона, % по объему		
$\Pi_{и}$	15,3	15,2
$\Pi_{к}$	9,7	11,3
$\Pi_{з}$	5,6	3,9

Примечание. Плотность (удельная масса) бето- на по ГОСТ 12730-67 составляет 2,62 г/см<sup>3</sup>.

Анализ данных показывает, что бетон в контроль - ных образцах, отформованных при подборе состава бе-

тонной смеси в лаборатории и твердевших в течение 28 суток в нормальных температурно-влажностных условиях, соответствует требованиям ГОСТ 8424-72 по объему воздушных условно-замкнутых пор и морозостойкости. Бетон в образце-кернах, высверленном из дорожного покрытия, имеет объем воздушных условно-замкнутых пор несколько меньше, чем предусмотрено подбором. Это обстоятельство привело к некоторому снижению стойкости бетона против замораживания-оттаивания в 5%-ном растворе хлористого натрия, хотя и этот бетон по ГОСТ 10060-76 признается морозостойким.

По результатам определения параметров пористости бетона в покрытии необходимо отрегулировать дозировку воздухововлекающей добавки.

## Оглавление

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Общие положения . . . . .	5
Методика определения параметров поровой структуры бетона . . . . .	7
Приложение 1. Методика определения парамет- ров открытой пористости бетона по кинетике во- донасыщения . . . . .	13
Приложение 2. Пример определения параметров поровой структуры бетона . . . . .	16

Ответственный за выпуск  
инж. И.Е.Тарасенко

Редактор Л.В.Королева  
Технический редактор А.В.Евстигнеева  
Корректор И.А.Рубцова

---

Подписано к печати 14/XII 1978г.    Формат 60х84/16  
Л 124048    Цена 17 коп.

Заказ 5-9    Тираж 650 0,9 уч.-изд.л. 1,1 печ.л. + 1 вклейка

---

Ротапринт Союздорнии