

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

# КОЛЛОИДНЫЙ ЖУРНАЛ

Том XXIX

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

3

МОСКВА · 1987

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФУРАНОВОГО ПЛАСТБЕТОНА  
КАК ДИСПЕРСНОЙ СТРУКТУРЫ

*Р. Бареш, Я. Навратил, Л. Берка, Я. Яворницки*

С 1958 г. в Институте теоретической и прикладной механики Чехословацкой Академии Наук начали заниматься исследованиями пластбетона. Исключительная химическая стойкость, достаточное количество сырья, простота производства и дешевизна послужили причиной того, что выбор остановился прежде всего на фурановых смолах. Уровень прочности материала не имел решающего значения, так как большинство вяжущих веществ дают прочности одинакового порядка, обычно на практике полностью не используемые.

Из фурановых смол, с нашей точки зрения, самыми подходящими являются фурфурольные или фурфуролальдегидные продукты поликонденсации. Материал, получаемый при использовании этих смол в качестве вяжущих веществ для минеральных зерен, получил название «берол». Наполнителем в бероле (чехословацкий патент) является химически стойкий гравий с определенной гранулометрией, вяжущим веществом — продукт поликонденсации фурфурола. В зависимости от весового соотношения вяжущее/наполнитель изменяется прочность берола при сжатии от  $200 \text{ кгс/см}^2$  (для  $A/F$ —около 1:35) до  $800 \text{ кгс/см}^2$  (для  $A/F=1:3$ ). Прочность на растяжение равна приблизительно  $1/4$ — $1/6$  прочности при сжатии. Берол совершенно непроницаем, т. е. обладает лишь замкнутой пористостью до  $A/F$  около 1:12 (160 кг вяжущего вещества в  $1 \text{ м}^3$  берола). За исключением окисляющих кислых сред и сильных растворителей берол химически стоек практически во всех средах, включая кислоты и щелочи.

Рассмотрим некоторые из обнаруженных нами закономерностей. Различные величины, наиболее характерные для дисперсной структуры, с позиций физико-химической механики, графически изображены в зависимости от состава берола — от отношения активной составляющей — вяжущего вещества (без катализатора и ускорителя) к наполнителю.

Важной характеристикой пластбетона является его объемный вес (рис. 1). Объемный вес у материалов, которые по существу являются смесью пластмасс с наполнителями, растет с увеличением количества наполнителя, начиная с величины, соответствующей чистой смоле; в дальнейшем, когда можно считать материал состоящим из связанных зерен наполнителя, объемный вес уменьшается (до величины, соответствующей весу уплотненного наполнителя). Максимальная величина этого объемного веса зависит от гранулометрии наполнителя и от эффективности обработки. Снижение кривой очевидно соответствует увеличению пористости, т. е. недостаточному заполнению системы наполнителем. Максимальная величина объемного веса берола соответствует  $A/F$  от 1:7 до 1:11. При различных условиях (гранулометрия наполнителя и особенно влажность среды и т. д.) получаем семейство кривых на рис. 2.

Представление о макроструктуре системы дополняет кривая водопоглощения, дающая объем открытых пор (рис. 3). Если на подобные

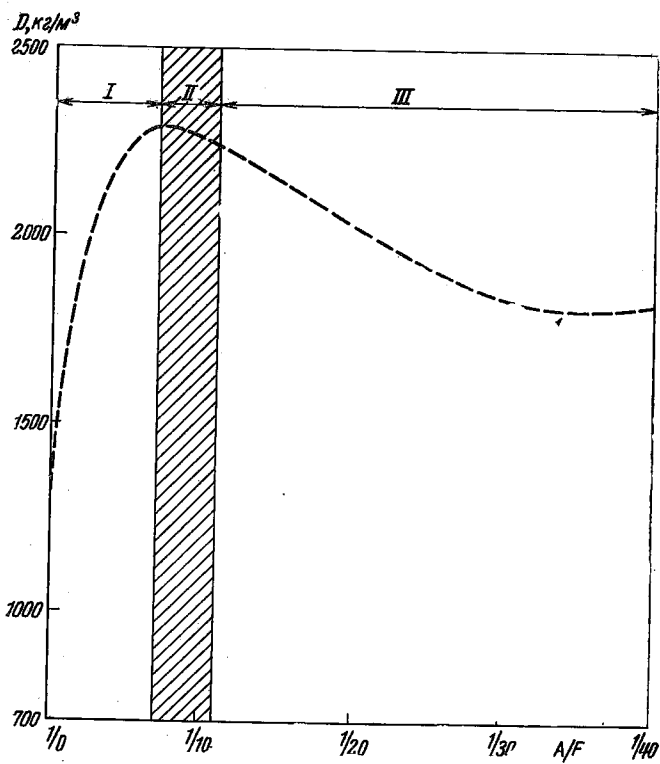


Рис. 1. Объемный вес пластбетона в зависимости от  $A/F$  (с ростом содержания наполнителя)

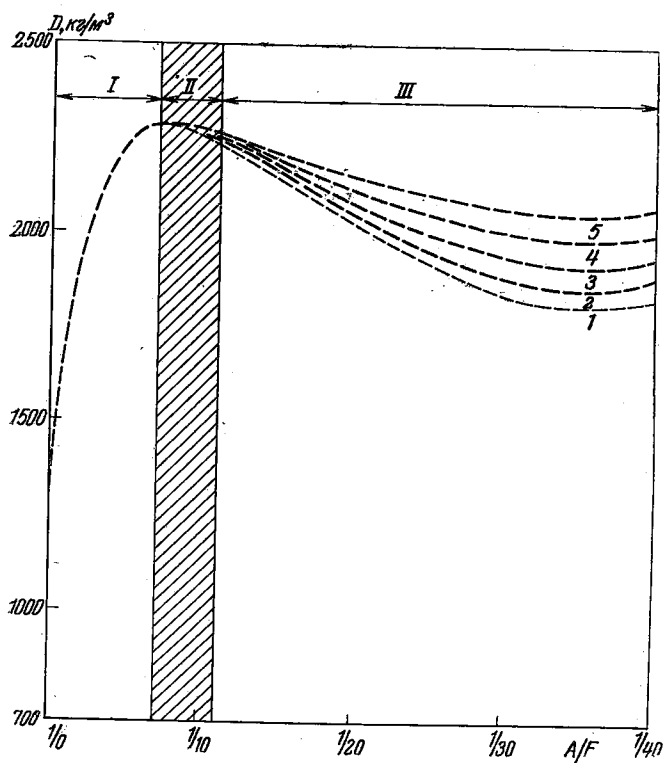


Рис. 2. Объемный вес пластбетона различной влажности в зависимости от  $A/F$

координатные оси нанесем кривые прочности при сжатии и при растяжении или при растяжении и изгибе, получим сложную кривую с тремя точками перегиба и явно выраженным максимумом, как это изображено для берола, твердевшего при повышенной температуре на рис. 4. Характер кривой остается тем же для любой granulометрии наполнителя и для

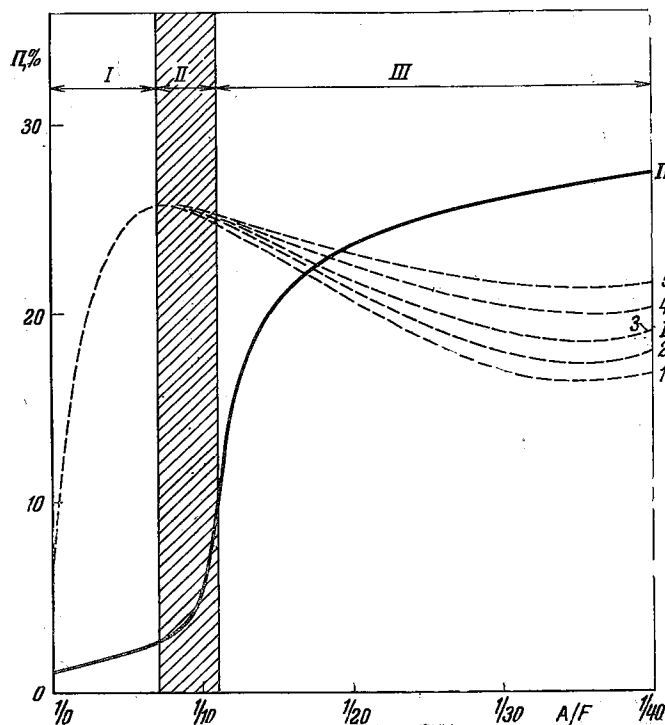


Рис. 3. Открытая пористость в процентах от общего объема в зависимости от  $A/F$

любых промежутков между гранулами (для различной пористости) и для различных количеств и видов остальных составляющих (ускорителей, катализаторов). Изменяется только высота максимума, резко снижающаяся до полного исчезновения по мере увеличения влажности среды (влагопоглощения). Семейство кривых, изображенных на рис. 5, характеризует прочность структуры в различных условиях влагонасыщения в зависимости от  $A/F$ . Кривая 5 соответствует материалу, насыщенному водой, а кривая 1 — полностью высушенному материалу.

На рис. 6 дана зависимость модуля Юнга (модуля упругости от  $A/F$ ). При изменении внешних условий — влажности среды (влагопоглощения) происходит изменение формы зависимости модуля Юнга от  $A/F$ . Такое семейство представлено на рис. 7. Соответствующие кривые для модуля Юнга, прочности и объемного веса в различных условиях влажности обозначены одинаковыми цифрами (1—5).

Приведем зависимость линейной усадки от  $A/F$  (рис. 8). Кривая  $A$  изображает усадку берола, твердевшего при температуре  $50^{\circ}\text{C}$ , а кривая  $B$  — при нормальной температуре  $20^{\circ}\text{C}$ .

Приведенные зависимости однозначно показывают, что все экстремумы сосредоточены в области (заштрихованной на рисунках), в которой происходит переход от замкнутой к открытой пористости. Эта область соответствует диапазону  $A/F$  от 1 : 7 до 1 : 11. Этот переход, по нашему мнению, имеет важное и общее значение. При обсуждении свойств пласт-

бетона поэтому удобно рассматривать структуру в каждом из трех состояний, соответствующих определенным интервалам  $A/F$  — I и III интервалы. Поведение систем в интервалах в общем можно считать само собою разумным, его нет необходимости подробнее комментировать. Наибольший интерес представляет переходный (заштрихованный на рисунках) интервал II, определяющий поведение пластбетона.

Повышение прочности с ростом содержания наполнителя в интервале II очевидно вызвано понижением внутренних напряжений в структуре при появлении открытой пористости, а также возможно и вследствие уменьшения толщины прослоек вяжущего вещества между зернами заполнителя (упрочнение структуры полимера). При постепенном заполнении открытой пористости водой этот эффект снижается и почти совсем перестает проявляться при полном насыщении пористой структуры водой (понижение прочности под влиянием воды). После полного же высушивания при оптимальной открытой пористости и, конечно, в зависимости от формы и распределения пор, когда внутренние напряжения практически устранены, прочность в максимуме практически достигает уровня прочности чистого вяжущего вещества после его затвердевания. При дальнейшем росте содержания наполнителя вследствие недостатка вяжущего вещества и возрастания пористости, прочность непрерывно падает. На модуль упругости запол-

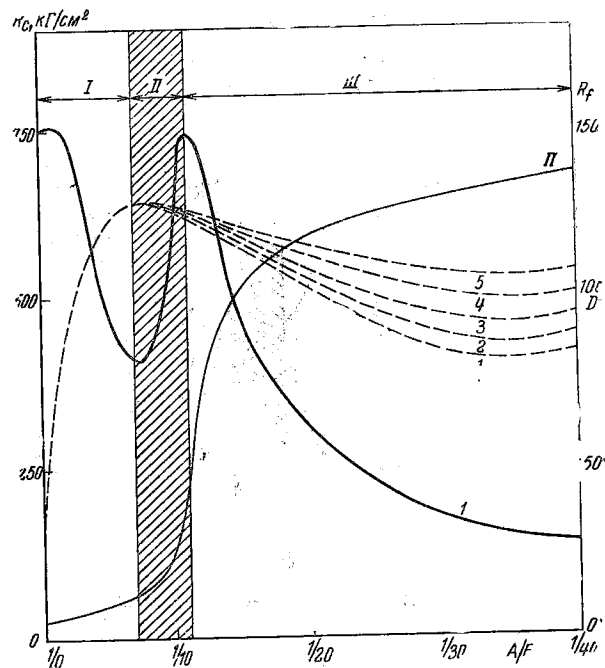


Рис. 4. Прочность пластбетона на одноосное сжатие: пластбетона (в сухом состоянии) в зависимости от  $A/F$

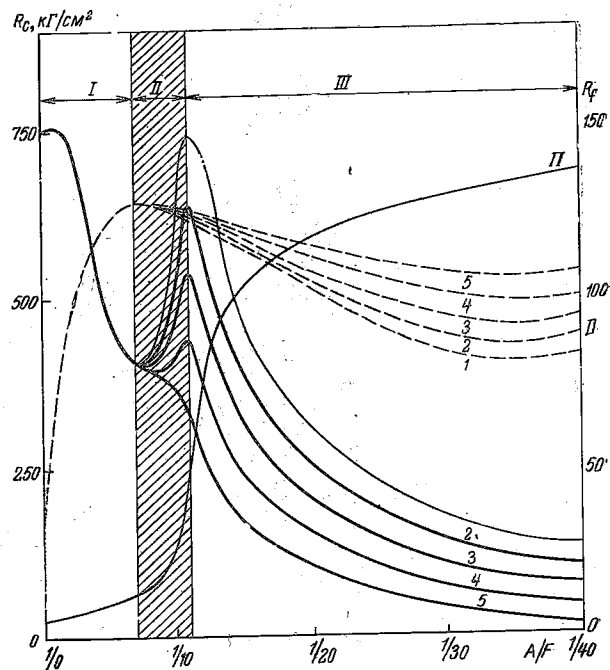


Рис. 5. Прочность пластбетона различной влажности в зависимости от  $A/F$ .

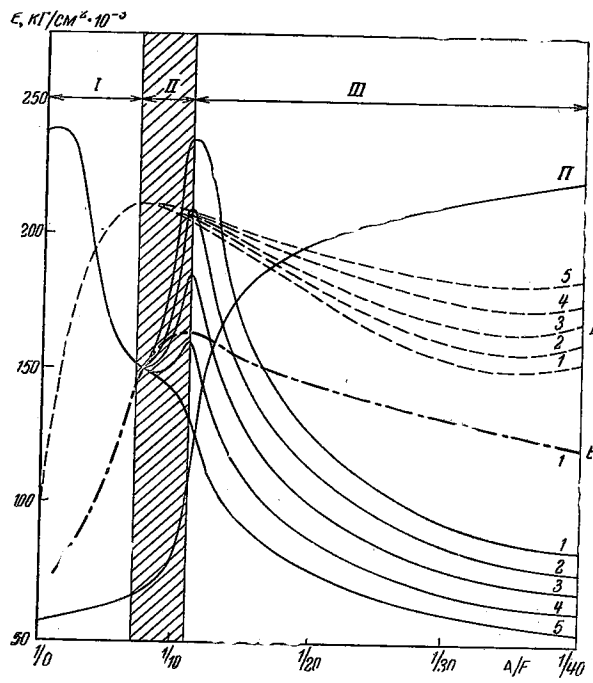


Рис. 6. Модуль упругости пластбетона в сухом состоянии в зависимости от  $A/F$

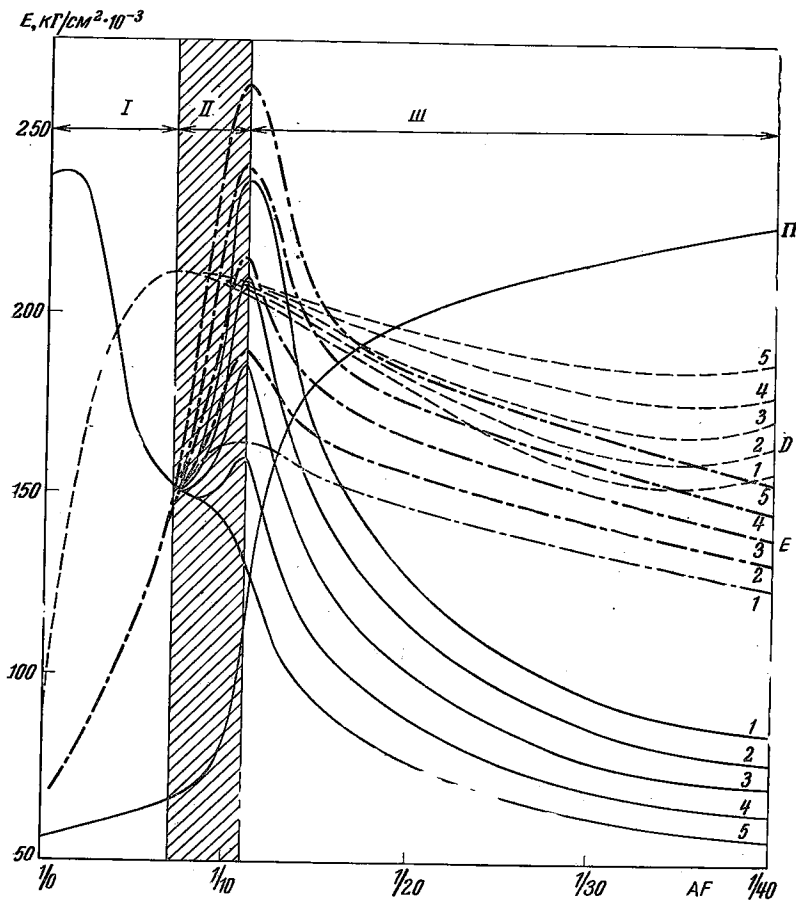


Рис. 7. Модуль упругости пластбетона с различной влажностью в зависимости от  $A/F$

нение открытых пор водой оказывает противоположное действие. Ввиду практической несжимаемости воды модуль упругости при этом возрастает, а при высушивании, наоборот, уменьшается. Кривая водопоглощения показывает, что в интервале I пластбетон является практически непроницаемым материалом с прерывистой (замкнутой)

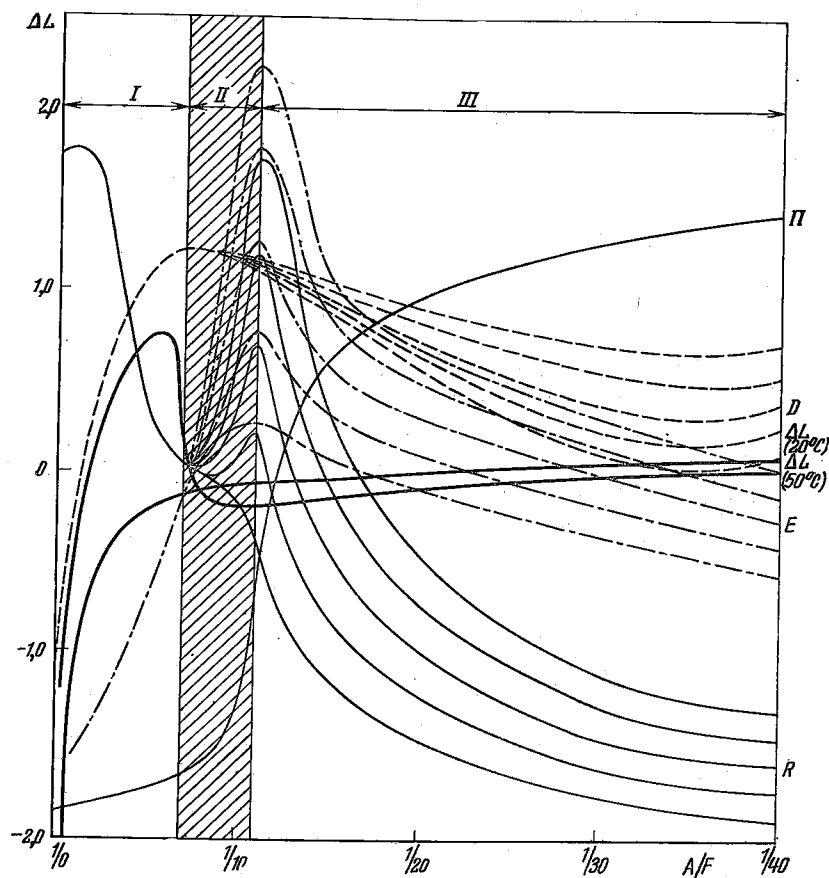


Рис. 8. Линейная усадка  $\Delta L/LO$  100 за 28 суток твердения в зависимости от  $A/F$

пористостью, в интервале II сказывается переходная структура пор и только в интервале III возникает значительная открытая пористость, проявляющаяся в проницаемости структуры пластбетона.

Интересной, но пока еще трудно объяснимой является форма кривых, изображающих усадку структуры, твердеющей при повышенной температуре, особенно в переходной области между интервалами I и II. При этом следует иметь в виду, что все экстремумы измерившихся нами величин являются вполне воспроизводимыми и тщательно проверенными.

На рис. 9 сопоставлены все изученные величины в зависимости от объемного содержания вяжущего вещества (в долях от общего объема)  $D$  (I),  $E$  (I) и  $R$  (I) — объемный вес, модуль Юнга и прочность на сжатие в сухом состоянии,  $\Pi$  — пористость,  $\Delta L$  — линейная усадка в  $\%$ .

При таком наглядном изображении для всех изученных свойств в переходном интервале II относительное объемное содержание вяжущего вещества составляет от 0,2 до 0,3.

Обнаруженные зависимости и их анализ позволят в дальнейшем обосновать состав оптимальной смеси для пластбетонов.

В дальнейшем, очевидно, на основе проведенных нами исследований необходимо установить оптимальные условия смешения составляющих —

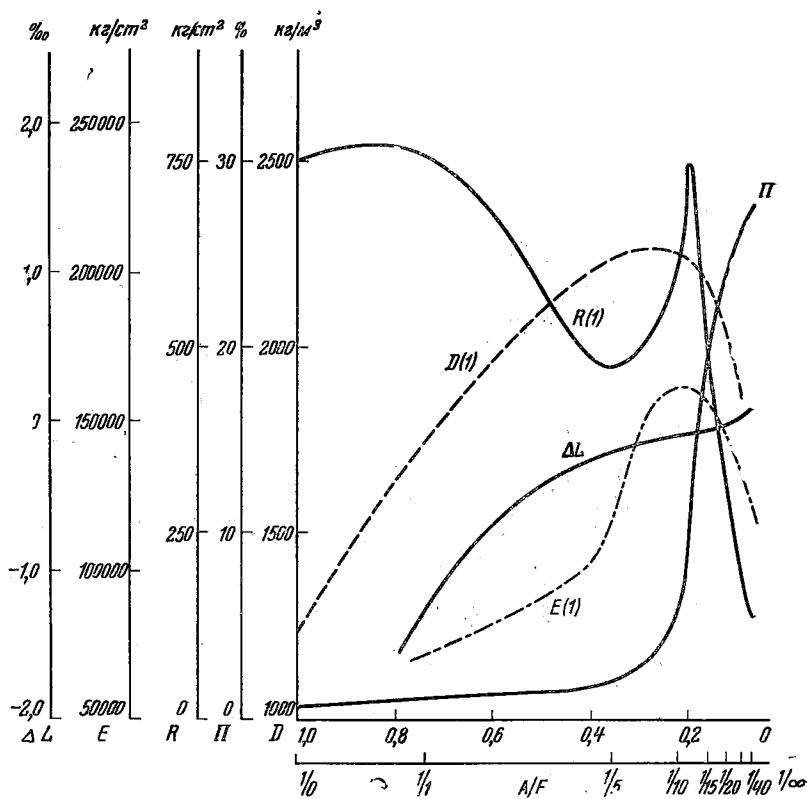


Рис. 9. Сопоставление некоторых физических величин для высушенной структуры пластбетона в зависимости от относительного содержания вяжущего вещества в единице объема (верхний масштаб по оси абсцисс, нижний масштаб  $A/F$ ).

приготовления смесей и их механической обработки для предельного уплотнения структуры в духе физико-химической механики материалов [1].

### Выводы

1. Для отвержденных дисперсных структур пластбетонов на кварцевом песке в качестве заполнителя и фурфуроловой смоле в качестве вяжущего вещества, экспериментально изучены полные зависимости объемного веса, открытой пористости по водопоглощению, прочности, модуля упругости и линейной усадки в зависимости от содержания наполнителя (объемной доли вяжущего вещества) в структуре.

2. Показано, что вся область концентрации заполнителя может быть разделена на три интервала: I интервал соответствует практическому отсутствию открытой пористости при достаточно высоком содержании вяжущего вещества до 0,4—0,3; II — переходный интервал соответствует объемному содержанию вяжущего от 0,3 до 0,2, началу резкого повышения открытой пористости, резкому повышению прочности и модуля упругости до максимума в конце этого интервала; III интервал соответ-



вует недостатку вяжущего (менее 0,2 по объему), резкому нарастанию открытой пористости, падению объемного веса, прочности и модуля упругости в сухом состоянии.

3. Исследовано влияние увлажнения — постепенного заполнения открытой пористости водой при водонасыщении. Показано, что максимум прочности в переходном интервале (II) устраняется при полном водонасыщении — прочность водонасыщенного пластбетона непрерывно падает с увеличением содержания наполнителя. Вместе с тем модуль упругости в переходном интервале II возрастает значительно резче в водонасыщенной структуре и при этом остается более высоким даже в интервале III.

4. Проведенное исследование позволяет обосновать оптимальный состав дисперсной структуры пластбетона и в дальнейшем перейти к окончательной оптимизации пластбетонных структур на основе принципов физико-химической механики.

Институт теоретической и прикладной механики  
Чехословацкой Академии Наук  
Прага

Поступила в редакцию  
4 февраля 1966 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Физико-химическая механика дисперсных структур, Сб. Коллоидн. ж. под ред П. А. Ребиндера, изд-во «Наука», М., 1966.

---

#### STUDY OF FUNDAMENTAL PROPERTIES OF DISPERSE STRUCTURES OF CONCRETE ON THE BASE OF FURAN RESINS AS BINDING MATERIALS

Summary

*R. Bares, J. Navrátil, L. Berka, J. Javornický*

Fundamental characteristics (porosity—relative compressive and tensile strength, Young's modulus, linear shrinkage) of disperse structures of the strengthened concrete on the base of co-polycondensate of furol and fural as binding agents are carefully studied with increase of the filler (quartz sand) content for dry and also for water-saturated systems.

---