

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВОДОПОТРЕБНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА

Мартынов Е.В., Казмирчук Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры), Мартынова Е.Б. (Одесский государственный аграрный университет)

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния некоторых факторов на физико-механические свойства пенобетона.

Развитие энергосберегающих технологий и материалов для Украины – одна из важнейших задач, решение которой в ближайшее время крайне необходимо. Значительная часть энергоресурсов, расходуемых на отопление зданий различного назначения, теряется через ограждающие конструкции. Наиболее простым решением данной проблемы является изготовление ограждающих конструкций из ячеистого бетона, в частности пенобетон неавтоклавного твердения. Однако некоторые физико-технические показатели неавтоклавного пенобетона не позволяют его использовать в качестве универсального материала ограждающих конструкций.

Основные проблемы неавтоклавного пенобетона и пути их решения представлены на причинно-следственной диаграмме (рис. 1.).

Как видно из диаграммы, решение проблемных вопросов в технологии неавтоклавного пенобетона сводится к решению многокритериальной и многофакторной задачи. Практическое решение задач подобного типа требует значительных материальных и временных ресурсов. Для их экономии целесообразно применение математических методов планирования экспериментов [1, 2].

С целью определения качественного и количественного влияния некоторых из указанных факторов на свойства пенобетона был проведен 5-ти факторный эксперимент по плану Хартли-5. В качестве варьируемых факторов были выбраны следующие: диаметр распылителя раствора по вискозиметру Сутгарда, количество наполнителя, концентрация пенообразователя, удельная поверхность наполнителя, содержание добавки.

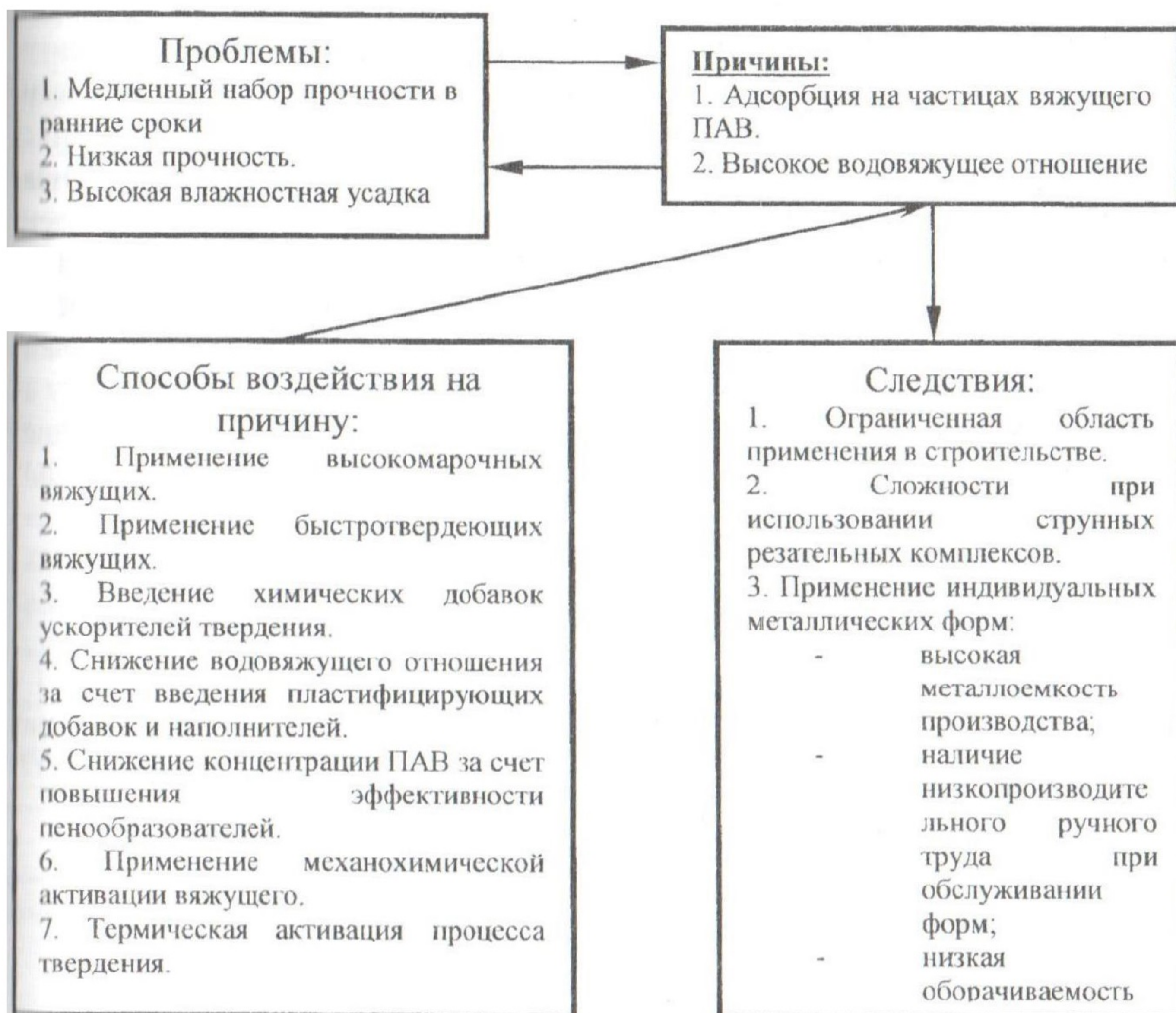


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма.

Обоснование выбранных переменных факторов базируется на основе априорной информации. Известно, что прочность цементных композиций является функцией водоцементного отношения, которая отражает различные реологические характеристики (коэффициент нормальной густоты, диаметр расплыва раствора на встряхивающем столике, вязкость и пр.). В ячеистых бетонах в качестве основной реологической характеристики принята величина диаметра расплыва раствора по вискозиметру Суттарда. Изменение второго фактора – содержания наполнителя с одной стороны является источником регулирования себестоимости продукции, а с другой стороны, оказывает существенное влияние на водопотребность растворной смеси и, как следствие, на остаточную влажность материала. Из диаграммы на рис. 1 видно, что причиной низкой прочности пенобетона является адсорбция на частицах вяжущего вещества ПАВ, которые являются основой пенообразователя. Влияние концентрации

раствора пенообразователя планировалось изучить при помощи третьего фактора. Как показано в [3, с. 73] физико-механические свойства ячеистых бетонов зависят от прочности и плотности межпоровых перегородок, которые в свою очередь определяются размерами частиц вяжущего и наполнителя. Для определения влияния дисперсности наполнителя на свойства пенобетона был введен четвертый фактор. Современные композиционные строительные материалы невозможно представить без модификации их химическими добавками. Все более широкое применение получают добавки комплексного воздействия на различные свойства продукта. Поэтому в качестве пятого переменного фактора было введено содержание комплексной добавки «Релаксол-Супер», производства ООО «Будиндустрия» (Украина).

Общие сведения о переменных факторах, их уровнях и интервалах варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Наименование фактора	Код фактора	Ед. измер.	Уровни варьирования			Интервал варьирования
			- 1	0	+ 1	
X <sub>1</sub> диаметр расплыва раствора	d	мм	140	200	260	60
X <sub>2</sub> содержание наполнителя	H	дол. ед	0	0,2	0,4	0,2
X <sub>3</sub> концентрация пенообразующего раствора	C	%	0,5	1	1,5	0,5
X <sub>4</sub> удельная поверхность наполнителя	S <sub>уд</sub>	см <sup>2</sup> /г	500	2000	3500	1500
X <sub>5</sub> содержание добавки	Д	%	0	0,75	1,5	0,75

В эксперименте применялись следующие материалы: вяжущее – портландцемент марки М 400, наполнитель – рядовой кварцевый песок, пенообразователь – «Юган», комплексная добавка – «Релаксол-Супер». Расчет состава производили из условия получения пенобетона средней плотностью в высушенном состоянии 600 кг/м<sup>3</sup>.

Пенобетон приготавливали в следующей последовательности. В первую очередь смешивали вместе вяжущее и наполнитель. В сухую смесь добавляли необходимое количество воды с определенным количеством раствора суперпластификатора. Требуемое количество воды в каждой строке подбиралось экспериментально в соответствии с планом эксперимента для обеспечения необходимого диаметра расплыва раствора по вискозиметру Суттарда. После приготовления растворной части начиналось приготовление пены. В пеногенератор

заливали необходимое количество раствора пенообразователя. Приготовленную пену добавляли в растворосмеситель с готовой растворной частью. Из полученной пенобетонной смеси формовали образцы с размерами граней 100x100x100 мм. Формы разопалубливали на 3-ий день и полученные образцы хранили в камере нормального твердения до достижения ими 28-ми суточного срока.

В качестве оптимизируемых параметров были выбраны: водотвердое отношение, прочность при сжатии, водопоглощение и коэффициент водостойкости.

С помощью программы COMPEX были рассчитаны коэффициенты математических моделей и построены квазиоднофакторные зависимости, показывающие влияние выбранных факторов на свойства.

В статье приведены результаты по изменению водопотребности растворной смеси (по водотвердому отношению) и прочности при сжатии пенобетона.

Математические модели водопотребности растворной смеси и логарифма прочности пенобетона с учетом незначимых коэффициентов имеют вид:

$$\begin{aligned} V/T = & 0,362 + 0,044 x_1 - 0,017 x_2 + 0,004 x_3 + 0,035 x_4 - \\ & - 0,050 x_5 + 0,019 x_1^2 - 0,011 x_2^2 - 0,011 x_4^2 + 0,003 x_1 x_2 + \\ & + 0,003 x_1 x_3 - 0,011 x_1 x_5 + 0,006 x_2 x_3 + 0,032 x_2 x_4 + 0,025 x_2 x_5 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \log(R) = & 1,726 + 0,825 x_1 - 0,203 x_2 - 0,170 x_3 + 0,263 x_4 + 0,175 x_5 - \\ & - 0,261 x_2^2 + 0,530 x_5^2 + 0,113 x_1 x_3 + 0,318 x_2 x_4 - 0,115 x_3 x_4 \end{aligned} \quad (2)$$

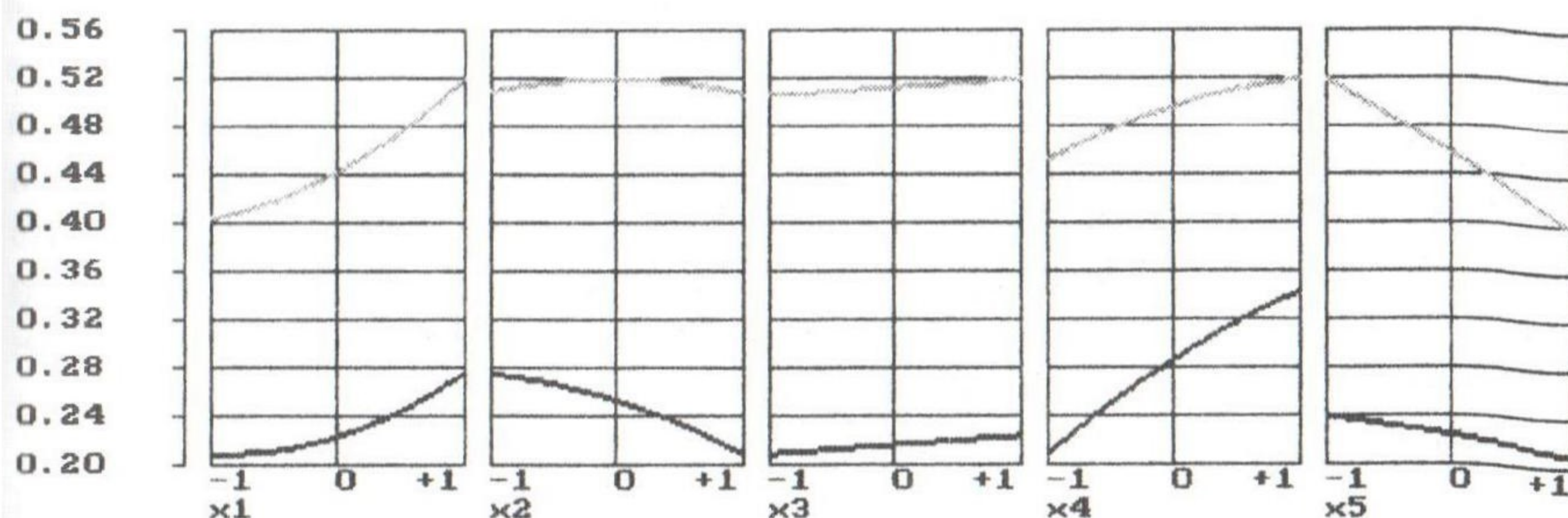


Рис. 2. Квазиоднофакторные зависимости водотвердого отношения.

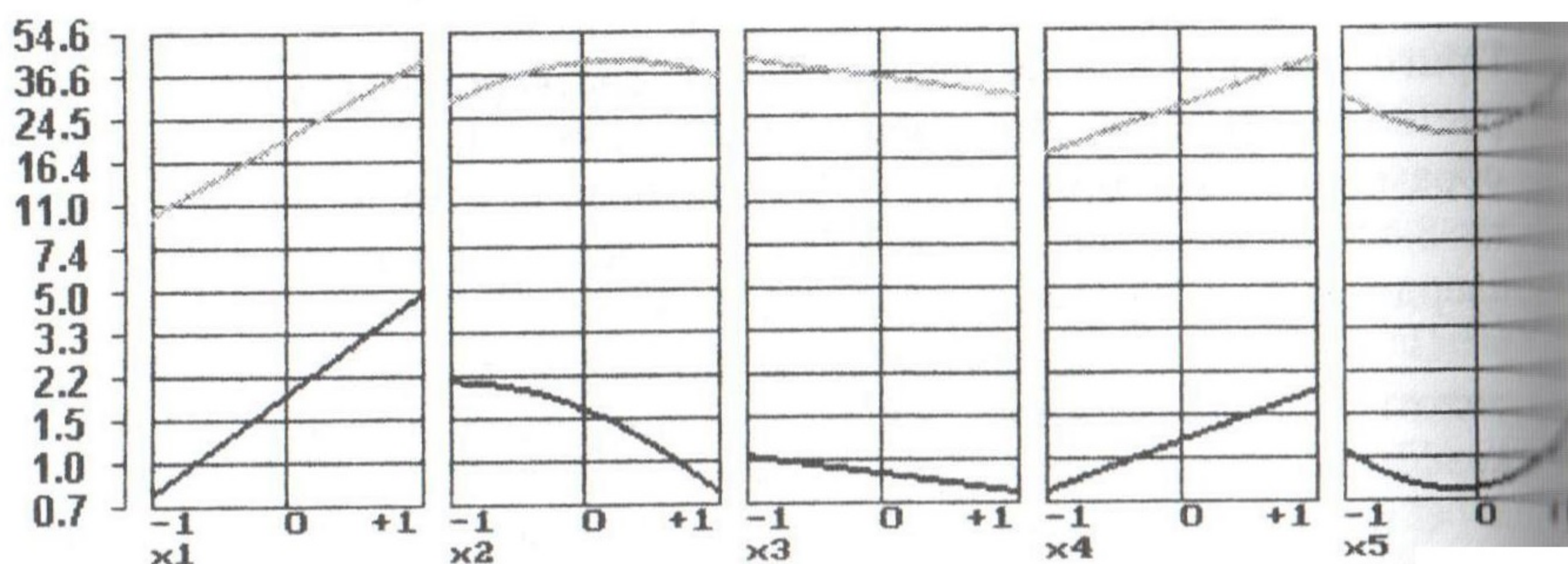


Рис. 3. Квазиоднофакторные зависимости прочности.

На рис. 2 и 3 показаны квазиоднофакторные зависимости водотвердого отношения и прочности.

Влияние диаметра расплыва на водотвердое отношение показано на первом графике и из него видно, что зависимость практически линейна. Это очевидно, т.к. с повышением содержания воды водотвердое отношение возрастает. Содержание наполнителя в зоне максимальных значений не оказывает существенного влияния на В/Т, а в зоне минимумов повышение содержания наполнителя приводит к снижению В/Т. Повышение концентрации ПО (пенообразователя) незначительно повышает В/Т. Повышение удельной поверхности наполнителя значительно повышает В/Т. Увеличение содержания комплексной добавки уменьшает значение В/Т.

На рис. 3 показаны квазиоднофакторные зависимости прочности. При увеличении диаметра расплыва, т.е. при увеличении содержания количества воды увеличивается прочность пенобетона. В зоне максимумов содержание наполнителя практически не сказывается на прочности, а в зоне минимумов повышение содержания наполнителя снижает прочность пенобетона. Повышение концентрации ПО незначительно снижает прочность. На графике, на котором показано влияние удельной поверхности наполнителя видно, что повышение тонкости помола увеличивает прочность пенобетона. Увеличение содержания добавки увеличивает прочность пенобетона.

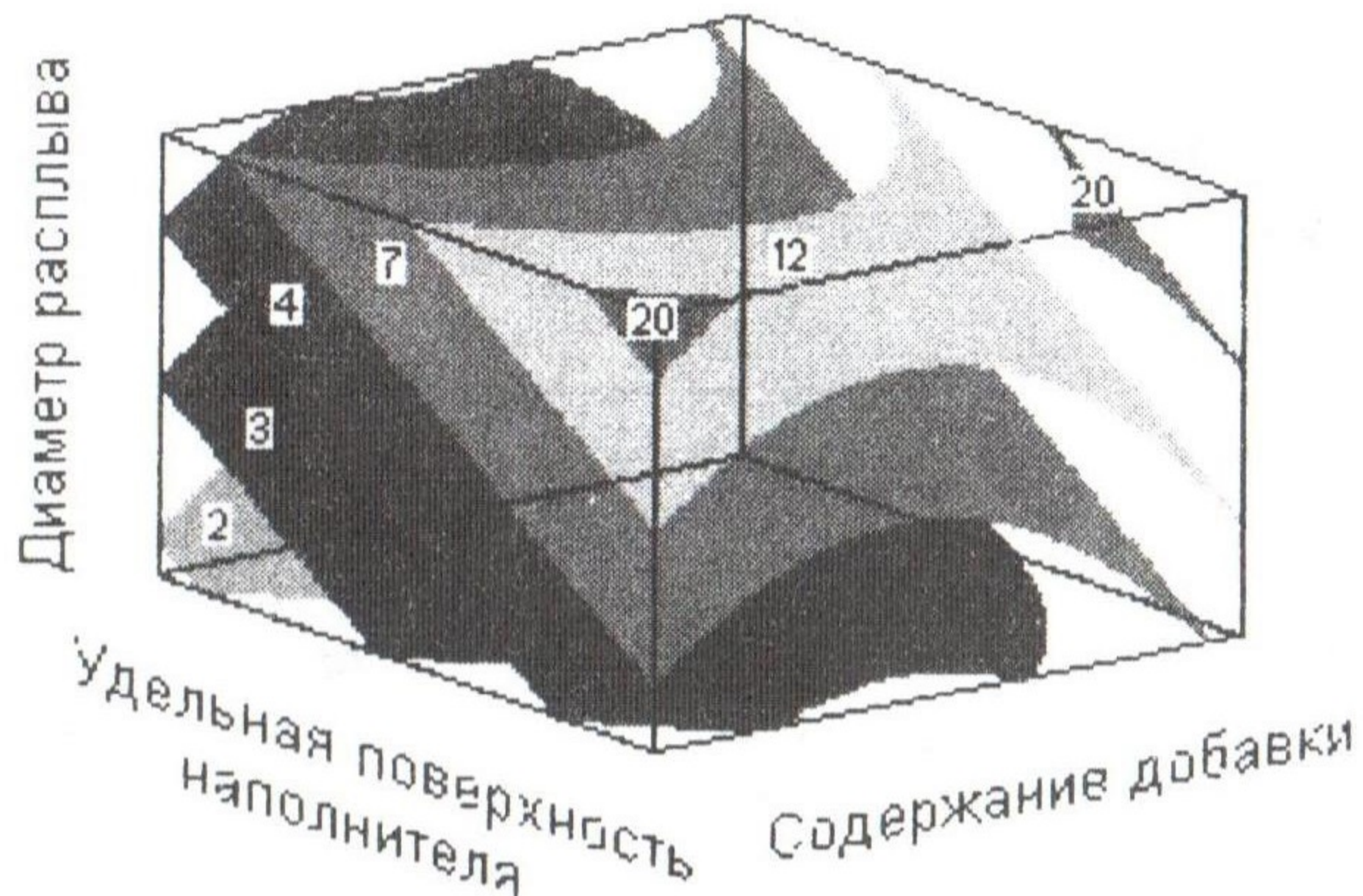


Рис. 4. Исоповерхности прочности.

На рис. 4 приведены изоповерхности прочности при фиксированных факторах  $X_2 = 40 \%$ ,  $X_3 = 0,5 \%$ .  $X_2$  зафиксирован при максимальном количестве наполнителя, поскольку наибольший интерес представляет экономичный состав. Фактор  $X_3$  зафиксирован на минимуме по тем же причинам.

Минимальная прочность обладает пенобетон с координатами в точке  $X_1 = 140 \text{ мм}$ ,  $X_4 = 500 \text{ г/см}^2$ ,  $X_5 = 0,75 \%$ . Максимальная прочность  $X_1 = 260 \text{ мм}$ ,  $X_4 = 3500 \text{ г/см}^2$ ,  $X_5 = 0 \%$ .

**Выводы:** изменение принятых в эксперименте переменных факторов приводит к изменению водотвердого отношения от 0,20 до 0,52. Причем наибольшее влияния оказывают следующие факторы: увеличение диаметра расплыва ведет к повышению В/Т, увеличение удельной поверхности наполнителя и содержание добавки снижают В/Т. Прочность пенобетона во всем факторном пространстве изменяется от 1 до  $34 \text{ кг/см}^2$ . Наибольшее влияние оказывают водотвердое отношение и удельная поверхность наполнителя, увеличение значений, которых ведет к повышению прочности. Неожиданным оказалось влияние расхода воды (В/Т) - при повышении которого прочность повышается.

1. Вознесенский В.А. Статистические решения в технологических задачах. Кишинев. - «Карта молдовеняскэ». - 1989 г. - 231 с.
2. Вознесенский В.А., Ляшенко В.А., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задачах на ЭВМ. Киев. - «Выща школа». - 1989 г. - 325 с.
3. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. М., Стройиздат, 1980. 396 с.