

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ БЕТОНА ПЛАВСООРУЖЕНИЙ

Кровяков С. А., Мишутин А. В. (г. Одесса)

Мишутин Н. В. (г. Николаев)

При производстве железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, эксплуатирующихся в морской воде, предъявляются повышенные требования к качеству бетона, в частности – вяжущему. Бетоны подвергаются замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высушиванию, воздействию солей морской воды и т.д. [1].

Для ответственных плавучих тонкостенных густоармированных конструкций материал должен соответствовать ОСТу 5.9267-85 «Бетон судостроительный» со следующими физико-механическими характеристиками:

- прочность на сжатие – 40..50 МПа
- прочность на изгиб – 4..6 МПа
- водонепроницаемость – W-10
- морозостойкость в морской воде – F=400 циклов
- сред. плотность – 2350..2400 кг/м<sup>3</sup>.

В Одесской государственной академии строительства и архитектуры были выполнены исследования по оптимизации состава бетона для густоармированных тонкостенных (8..14 см) элементов конструкций плавсооружений. Все бетоны имели равную дозировку (500 кг/м<sup>3</sup>) сульфатостойкого цемента марки 400 Новоамвросиевского завода и равное водоцементное отношение  $\approx 0.42$ . Т.к. материал предназначен для густоармированных тонкостенных конструкций, применялся щебень фракций 5..10 мм и песок с  $M_{кр}=1.2$ .

В натурном эксперименте варьировались следующие факторы состава бетона:  $X_1$  – соотношение между крупным и мелким заполнителями (щебень/песок) в пределах от 3.25 до 4.41 по массе ( $3.25 \leq X_1 = \text{Щ/П} \leq 4.407$ ),  $X_2$  – дозировка добавки «Амкироз» в пределах от 0.5 до 1% от массы цемента ( $0.5 \leq X_2 = \text{Доб} \leq 1$ ). Подбор составов бетонов выполнен по стандартной методике. Нормализация факторов бетона

выполнена по формуле [2]:

$$x_i = (X_i - 0.5 (X_{i.\max} + X_{i.\min})) / 0.5 (X_{i.\max} + X_{i.\min}) \quad (1)$$

Исследовалась удобоукладываемость смеси и прочность при сжатии бетона в ранние (3 суток) и марочные (28 суток) сроки.

Для величины осадки конуса бетонной смеси (см) получена следующая ЭС-модель со всеми значимыми коэффициентами (ошибка эксперимента при расчете  $S_3 = 1.70$  см):

$$\begin{aligned} \text{ОК} = 8.94 & - 1.92x_1 & \bullet & - 2.71x_1x_2 \\ & + 1.58x_2 & \bullet & \end{aligned} \quad (2)$$

Данная модель имеет максимум  $\text{ОК}_{\max} = 15.2$  см в точке с координатами  $x_1 = x_2 = 1$ , и минимум  $\text{ОК}_{\min} = 5.9$  см в точке с координатами  $x_1 = -1, x_2 = 1$ . На рис. 1 показана диаграмма в виде квадрата, построенная по модели 2.

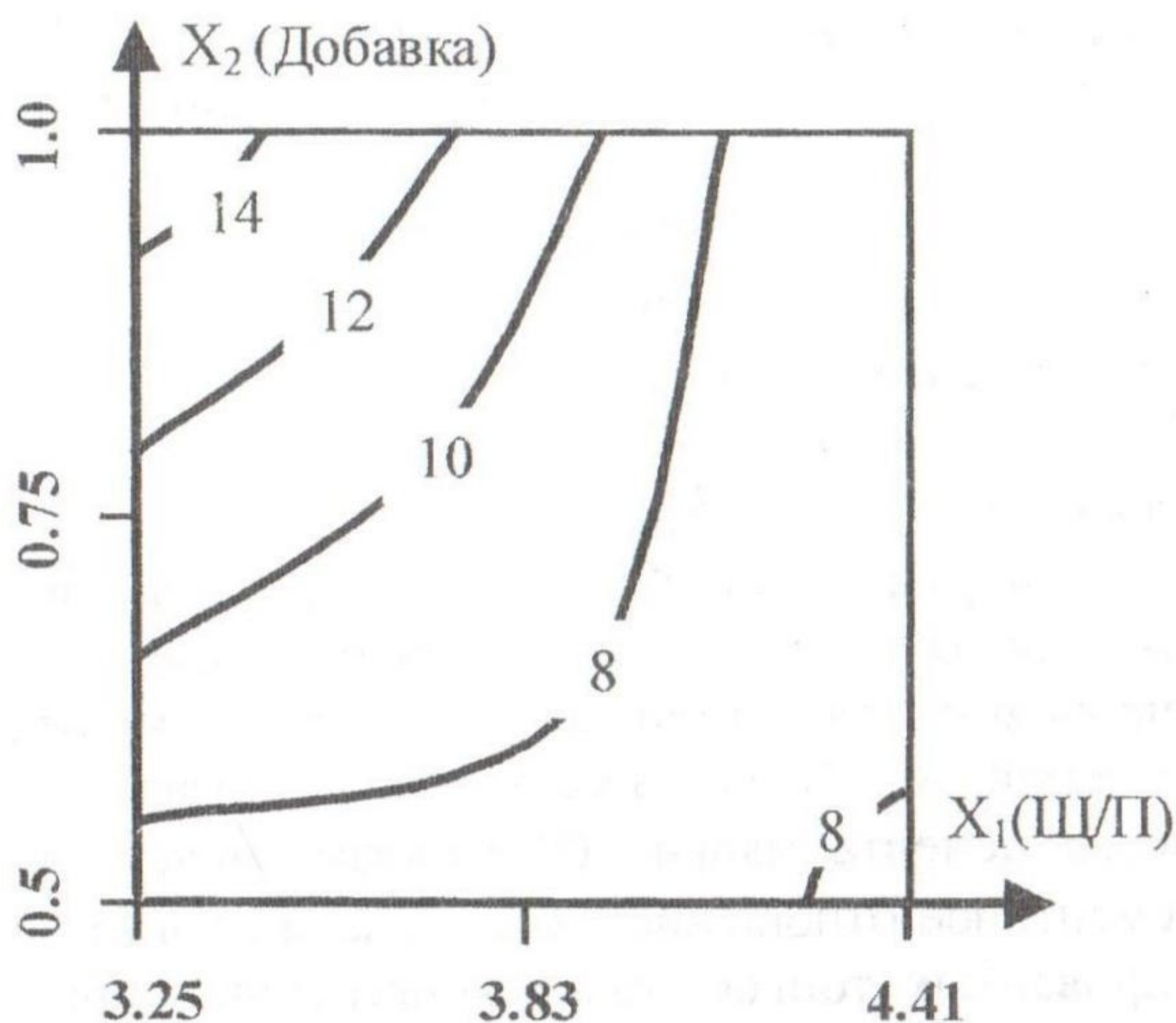


Рис. 1. Влияние Щ/П и количества добавки на величину осадки конуса бетонной смеси.

Как видно из диаграммы, наиболее подвижны ( $\text{ОК} > 10$  см) составы с низким Щ/П ( $x_1 < 0$ , высокопесчаные бетоны) и дозировкой добавки более 0.75% ( $x_2 > 0$ ). Увеличение дозировки «Амкироз» с 0.5 до 1% повышает подвижность смесей с большим содержанием песка, но прак-

тически не сказывается на подвижности низкопесчаных смесей ( $\Pi/\Pi > 4$ ).

Влияние факторов состава на прочность бетона в раннем возрасте (3 суток) описывает ЭС-модель ( $S_3 = 2.5$  МПа):

$$R_{c,3} = 20.1 + 2.2x_2 - 1.8x_1x_2 \quad (3)$$

Данная модель имеет максимум  $R_{c,3 \cdot \max} = 24$  МПа в точке с координатами  $x_1 = -1, x_2 = 1$ , и минимум  $R_{c,3 \cdot \min} = 16.2$  МПа в точке с координатами  $x_1 = x_2 = -1$ . На рис. 2(а) показана диаграмма в виде квадрата, построенная по модели 3.

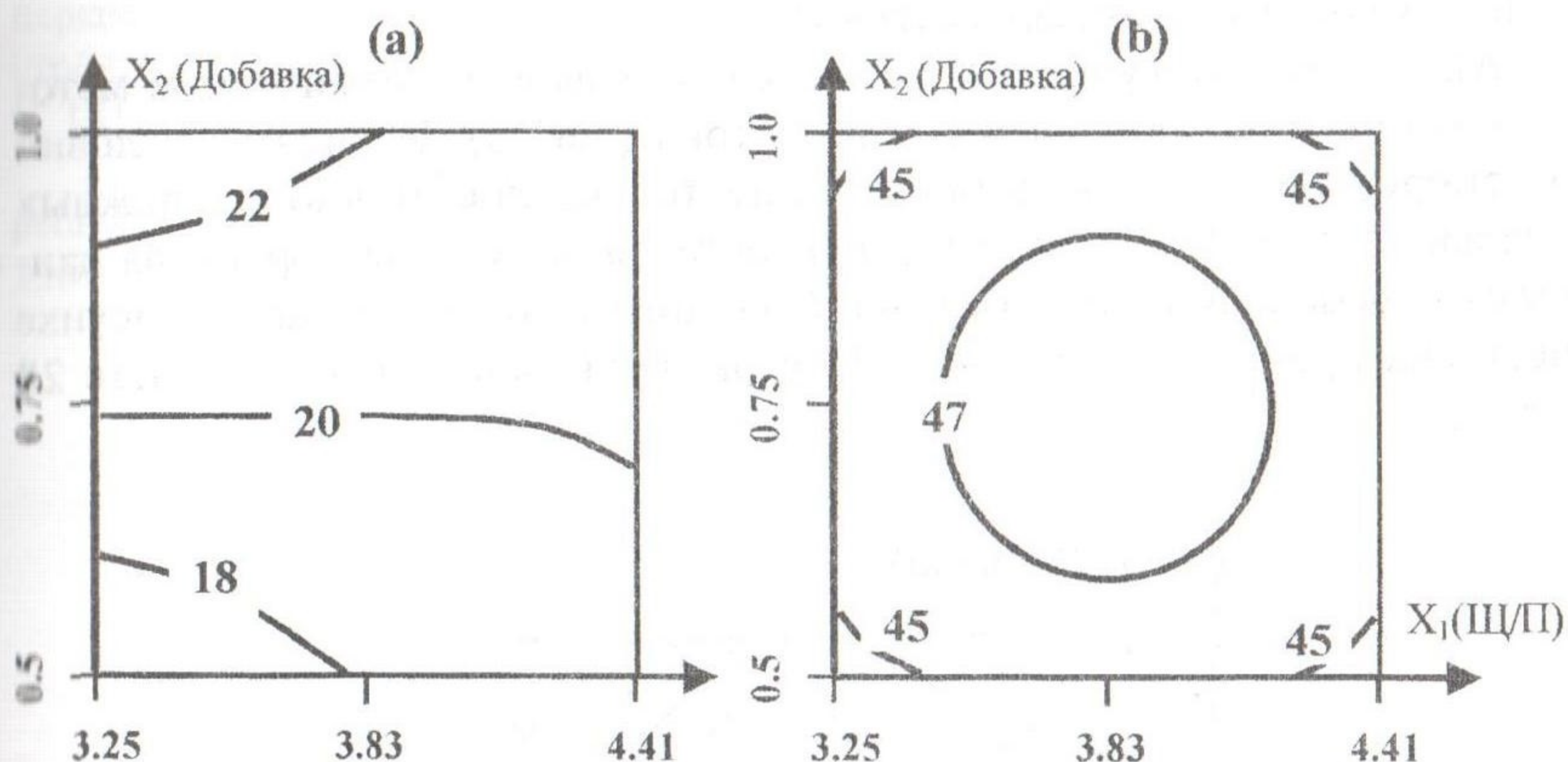


Рис. 2. Влияние Щ/П и количества добавки на прочность бетона в возрасте 3 суток(а) и 28 суток (б).

Данная диаграмма показывает, что на величину ранней прочности наиболее существенно влияет дозировка добавки, и по мере ее роста с 0.5 до 1% прочность возрастает от  $\approx 4$  МПа (при высоком Щ/П) до  $\approx 7$  МПа (при низком Щ/П). Данный эффект свидетельствует о ускоряющем твердение действии добавки «Амкироз», которое наиболее существенно сказывается на высокопесчаных составах.

Влияние же факторов состава бетона на величину прочности на сжатие в возрасте 28 суток (марочную прочность) адекватно описывается приведенной ниже ЭС-моделью ( $S_3 = 2.5$  МПа):

$$R_{c.28} = 48.1 \begin{matrix} \bullet & - & 2.0x_1^2 \\ \bullet & - & 2.2x_2^2 \end{matrix} \quad (4)$$

Данная модель показывает максимум  $R_{c.28 \cdot \max} = 4.8$  МПа в точке с координатами  $x_1 = x_2 = 0$ , и минимум  $R_{c.28 \cdot \min} = 4.4$  МПа одновременно в 4 точках (углы факторного пространства). Диаграмма в виде квадрата, построенная по данной модели, показана на рис. 2.б.

Можно сделать вывод, что в возрасте 28 суток влияние варьируемых факторов состава на прочность бетона заметно ослабевает по сравнению с их влиянием в раннем возрасте. За счет изменения Щ/П и дозировки добавки в пределах экспериментальных значений  $R_{c.28}$  изменяется не более, чем на 10%, хотя в возрасте 3 суток прочность у отдельных составов отличалась на 40%.

Анализ всех полученных ЭС-моделей позволяет графическим методом выбрать оптимальный состав бетона (рис. 3). Исходя из условий бетонирования возможно применение только достаточно подвижных смесей, с ОК > 10 см. Поэтому зона составов, не удовлетворяющая данным требованиям, заштрихована. Сплошными изолиниями на рисунке показана прочность в возрасте 3 суток, пунктирными – в возрасте 28 суток.

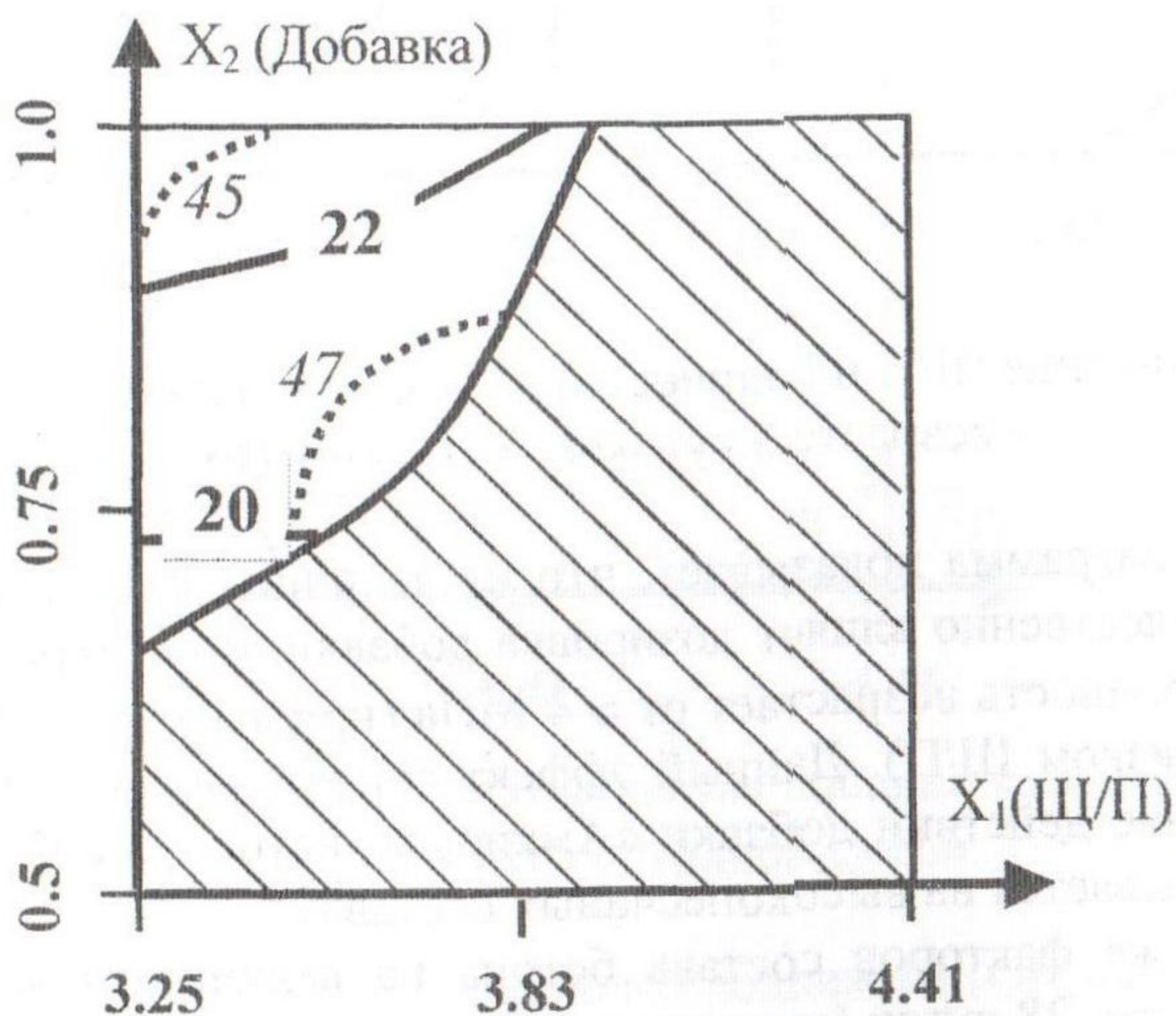


Рис. 3. Подбор оптимального состава бетона.

Как показывает анализ данной диаграммы, к применению можно рекомендовать только составы с повышенным ( $> 0.7\%$ ) расходом добавки и низким ( $< 3.8\%$ ) соотношением Щ/П. При этом в том случае, когда необходимо повысить раннюю прочность бетона, дозировку добавки следует увеличить до  $0.9..1\%$ .

В целом, результаты исследований позволяют рекомендовать к использованию в плавучих гидротехнических сооружениях бетон на сульфатостойком портландцементе М 400 Новоамвросиевского завода с добавкой «Амкероз».

### Литература

1. Мишутин Н. В., Мишутин А. В. Железобетонные плав. сооружения и перспективы их использования // Вестник одесской государственной академии строительства и архитектуры, Выпуск №6. – Одесса, Город мастеров. – 2002. – С. 181..186.

2. Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В., Огарков Б. Л. Численные методы решения строительно-технологичных задач на ЭВМ. – К., Высшая школа, 1989. – 328 с.