

Рис. 3. Блок-схема расчета модуля упругости бетона

УДК 666.97

Блещик Н.П., Бабицкий В.В.

## РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОНА С УЧЕТОМ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ

Ранее нами была предложена математическая модель для оценки модуля упругости бетона. Однако расчеты деформативных свойств бетона, оторванные от конкретного варьирования его составом, носят в известной степени познавательный характер и не имеют существенной практической ценности. В связи с этим предлагается метод проектирования состава бетона, который ввиду сложности исходной математической модели представлен в виде системы номограмм. Технику работы с номограммами рассмотрим на конкретном примере.

Предположим, необходимо подобрать состав бетона, обеспечивающий класс бетона по прочности на сжатие С20/25. Подвижность бетонной смеси, требуемая условиями работ, характеризуется осадкой конуса 3,5 см (марка П1).

В соответствии с требованиями СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» модуль упругости должен быть 32 ГПа.

Для приготовления бетонной смеси используют цемент порландский (марка М400, нормальная плотность 27 %), щебень гранитный (крупность 30 мм, модуль упругости 63 ГПа) и природный кварцевый песок.

Проектирование состава бетона осуществляют в следующей последовательности.

Водоцементное отношение бетонной смеси, обеспечивающее класс бетона по прочности на сжатие  $C^{20}/_{25}$ , рассчитывают по номограмме на рис. 1. На шкале «Класс бетона по прочности на сжатие» откладывают точку  $M_1 (C^{20}/_{25})$  и от нее через точку  $M_2$  (активность для цемента М400 может быть принята равной 40 МПа) проводят прямую до получения точки  $M_3$  (водоцементное отношение бетонной смеси равно 0,474).

По номограмме на рис. 2 определяют расход воды, обеспечивающий заданную удобоукладываемость бетонной смеси. Поскольку в примере бетонная смесь характеризуется подвижностью, то используют номограмму а). На шкале

«Осадка конуса» откладывают точку  $M_1$  (осадка конуса равна 3,5 см) и сносят ее вправо до пересечения с первой вертикальной линией, соответствующей крупности щебня 10 мм – точка  $M_2$ . Полученную точку  $M_2$  сносят вдоль наклонных линий вправо вниз до пересечения с вертикальной линией, отложенной от точки  $M_3$  (крупность щебня равна 30 мм) вверх. Полученную точку  $M_4$  сносят горизонтально вправо до пересечения со шкалой, характеризующей расход воды, – точка  $M_5$  (расход воды равен 176,5 кг).

Для расчета расхода цемента на шкале «Расход воды» номограммы на рис. 3 откладывают точку  $M_1$  (176,5 кг). Затем от нее проводят прямую через точку  $M_2$  (водоцементное отношение равно 0,474) до пересечения со шкалой «Расход цемента». Полученная точка  $M_3$  соответствует расходу цемента 372 кг.

Далее следует расчет оптимальной доли песка в смеси заполнителей (рис. 4). Точки  $M_1$  (расход цемента равен 372 кг) и  $M_2$  (расход воды равен 176,5 кг) соединяют прямой. В результате на совмещенной шкале получают точку  $M_3$ , по положению которой отсчитывают: на левой стороне шкалы – объем цементного теста в бетонной смеси (примерно равен 300 л), а на правой стороне – долю песка в смеси заполнителей (равна 34,7 %).

Расходы заполнителей определяют по номограмме на рис. 5. Через точки  $M_1$  (объем цементного теста равен 300 л) и  $M_2$  (доля песка в смеси заполнителей равна 34,7 %) проводят прямую. На соответствующих отсчетных шкалах получают точки  $M_3$  (расход песка равен 638 кг) и  $M_4$  (расход щебня равен 1220 кг).

Плотность бетонной смеси, равная сумме рассчитанных компонентов, составляет 2405 кг/м<sup>3</sup>.

Далее расчеты продолжают, имея в виду оценку модуля упругости бетона, приготовленного на запроектированном составе.

По номограмме на рис. 6 вначале определяют ориентировочное водоцементное отношение цементного теста в бетонной смеси. На левой стороне совмещенной шкалы откладывают точку  $M_1$  (водоцементное отношение бетонной смеси равно 0,474), а на правой стороне считывают водоцементное отношение цементного теста – 0,455. Полученное значение (0,455) откладывают на соответствующей шкале – точка  $M_2$ . Затем через точки  $M_2$  и  $M_3$  (нормальная плотность цемента равна 27 %) проводят прямую, получая точку  $M_4$  – относительное водосодержание цементного теста равно 1,68. На левой стороне совмещенной шкалы откладывают точку  $M_5$  (1,68), а на правой стороне считывают значение степени гидратации цемента – 70,2 %.

По номограмме на рис. 7 определяют капиллярную пористость цементного камня. Точку  $M_1$  (степень гидратации цемента равна 70,2 %) соединяют прямой с  $M_2$  (водоцементное отношение цементного теста равно 0,455) и при продолжении прямой на немой шкале получают точку  $M_3$ . Проводя далее через точку  $M_3$  и отложенную  $M_4$  (водоцементное отношение цементного теста равно 0,455) прямую, получают точку  $M_5$  – капиллярная пористость цементного камня равна 25 %.

По номограмме на рис. 8 рассчитывают модуль упругости цементного камня. Вначале прямой линией соединяют точки  $M_1$  (капиллярная пористость цементного камня равна 25 %) и  $M_2$  (относительное водосодержание цементного теста равно 1,68) и в результате на немой шкале получают точку  $M_3$ . Точку  $M_3$  сносят по горизонтали вправо до пересечения с вертикальной линией, соответствующей относительному водосодержанию цементного теста, равному 0,876 (точка  $M_4$ ). Затем через точки  $M_4$  и  $M_5$  («крестообразная метка») проводят наклонную прямую. А от точки  $M_6$  (относительное водосодержание цементного теста равно 1,68) проводят вертикальную линию до пересечения с наклонной линией  $M_4$ – $M_5$ . Полученную точку  $M_7$  сносят горизонтально вправо до пересечения со шкалой «Модуль упругости цементного камня» – точка  $M_8$  (19,5 ГПа).

По номограмме на рис. 9 определяют массовую долю цементного теста в бетонной смеси. Соединяют точки  $M_1$  (расход цемента равен 374 кг) и  $M_2$  (водоцементное отношение цементного теста равно 0,455) прямой, получая на немой шкале точку  $M_3$ . Затем через точки  $M_3$  и  $M_4$  (расход цемента равен 374 кг, но отсчет на другой шкале) проводят прямую, получая массовую долю цементного теста в бетонной смеси (точка  $M_5$ ) – 0,225.

И, наконец, по номограмме на рис. 10 определяют модуль упругости бетона. На шкале «Массовая доля цементного теста в бетонной смеси» откладывают точку  $M_1$  (0,225) и, соединяя ее прямой с  $M_2$  (модуль упругости цементного камня равен 19,5 ГПа), на немой шкале получают точку  $M_3$ . Далее точку  $M_3$  соединяют прямой с  $M_4$  (прочность бетона равна 32 МПа) и на немой шкале получают точку  $M_5$ . Далее, сохраняя координаты точки  $M_5$ , переходят к правой стороне номограммы. Откладывают точку  $M_6$  (массовая доля цементного теста равна 0,255) и через нее и точку  $M_7$  (модуль упругости крупного заполнителя равен 63 ГПа) проводят прямую до получения на немой шкале точки  $M_8$ . Соединяя точки, отложенные на немых шкалах ( $M_5$  и  $M_8$ ), прямой, получают точку  $M_9$  – модуль упругости бетона равен 32,2 ГПа.

Полученный модуль упругости бетона соответствует проектному (32 ГПа), поэтому перерасчет состава не требуется.

Таким образом, техника работы с номограммами достаточно проста. Результаты получаются оперативно и, что следует отметить особо, наглядно видны направления изменения значений исходных факторов с целью корректировки (при необходимости) величины модуля упругости бетона.

Рассчитанный состав подлежит корректировке по результатам пробных замесов.

В заключение следует отметить, что при построении номограмм использован алгоритм, в основу которого приняты приближенные инженерные методики расчета компонентов состава бетона. В дальнейшей работе, по мере накопления достоверных данных, могут быть внесены уточнения с учетом новых зависимостей структурно-механических свойств цементного камня и бетона.

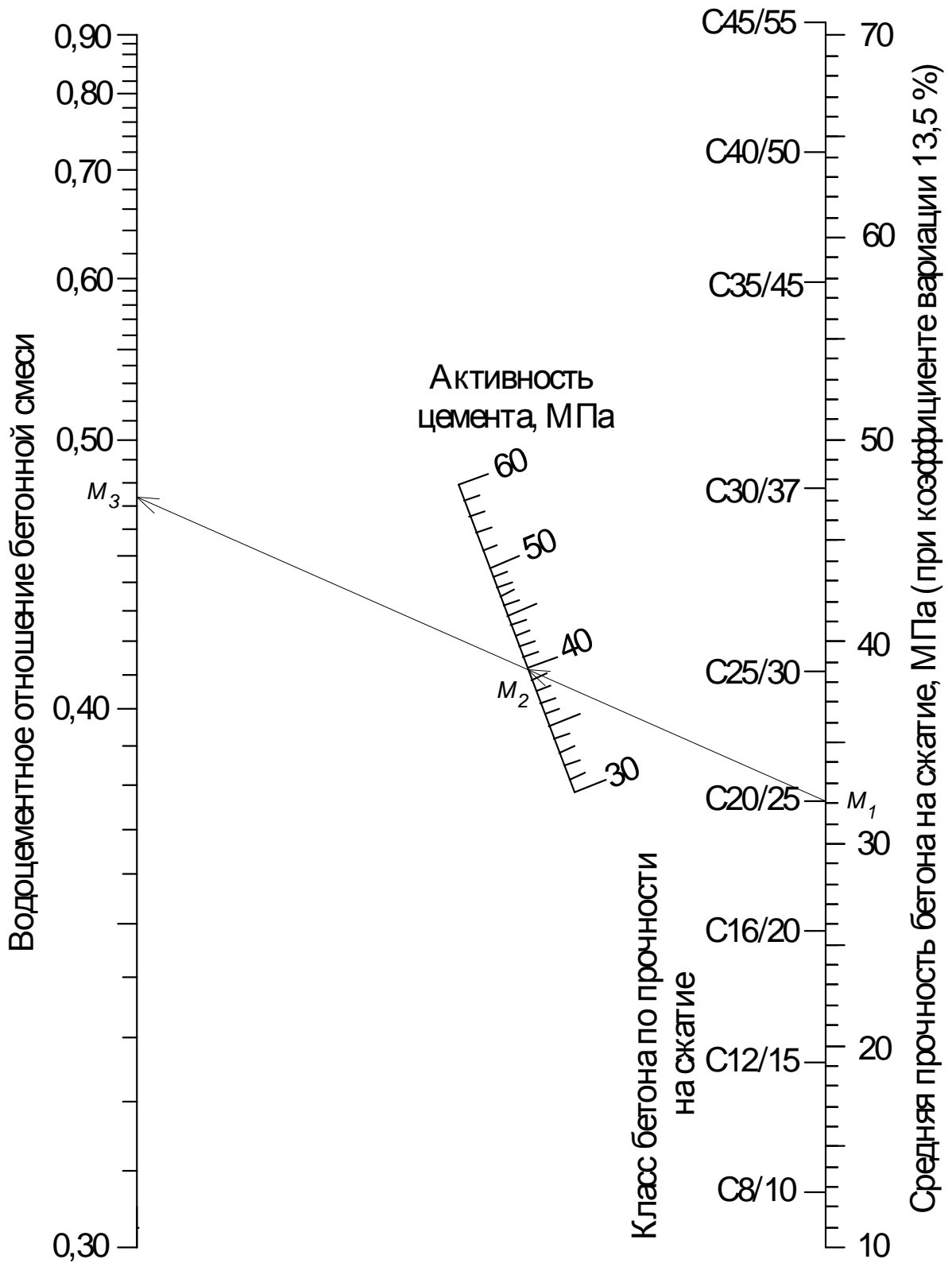


Рис. 1. Номограмма для расчета водоцементного отношения

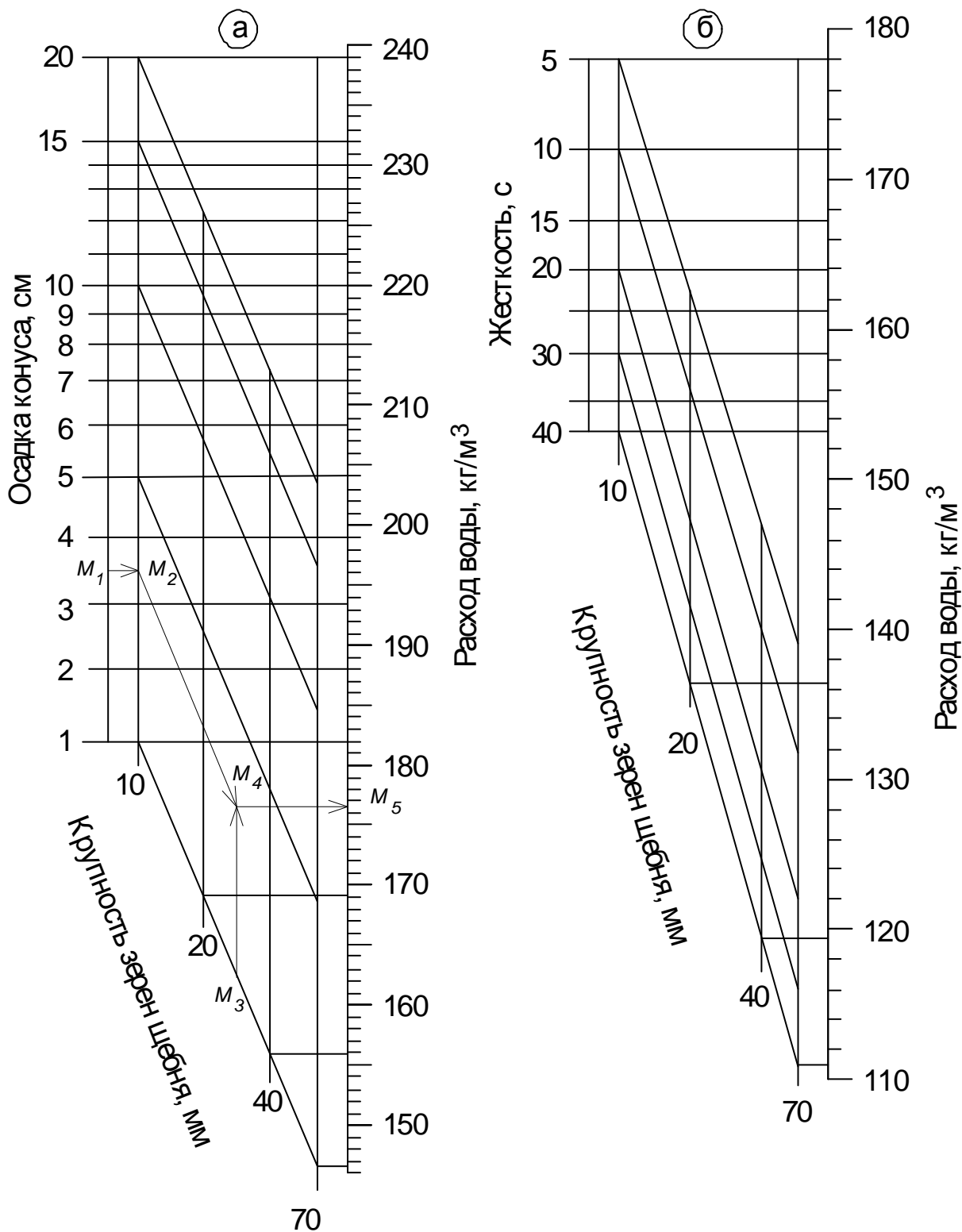


Рис. 2. Номограмма для расчета расхода воды

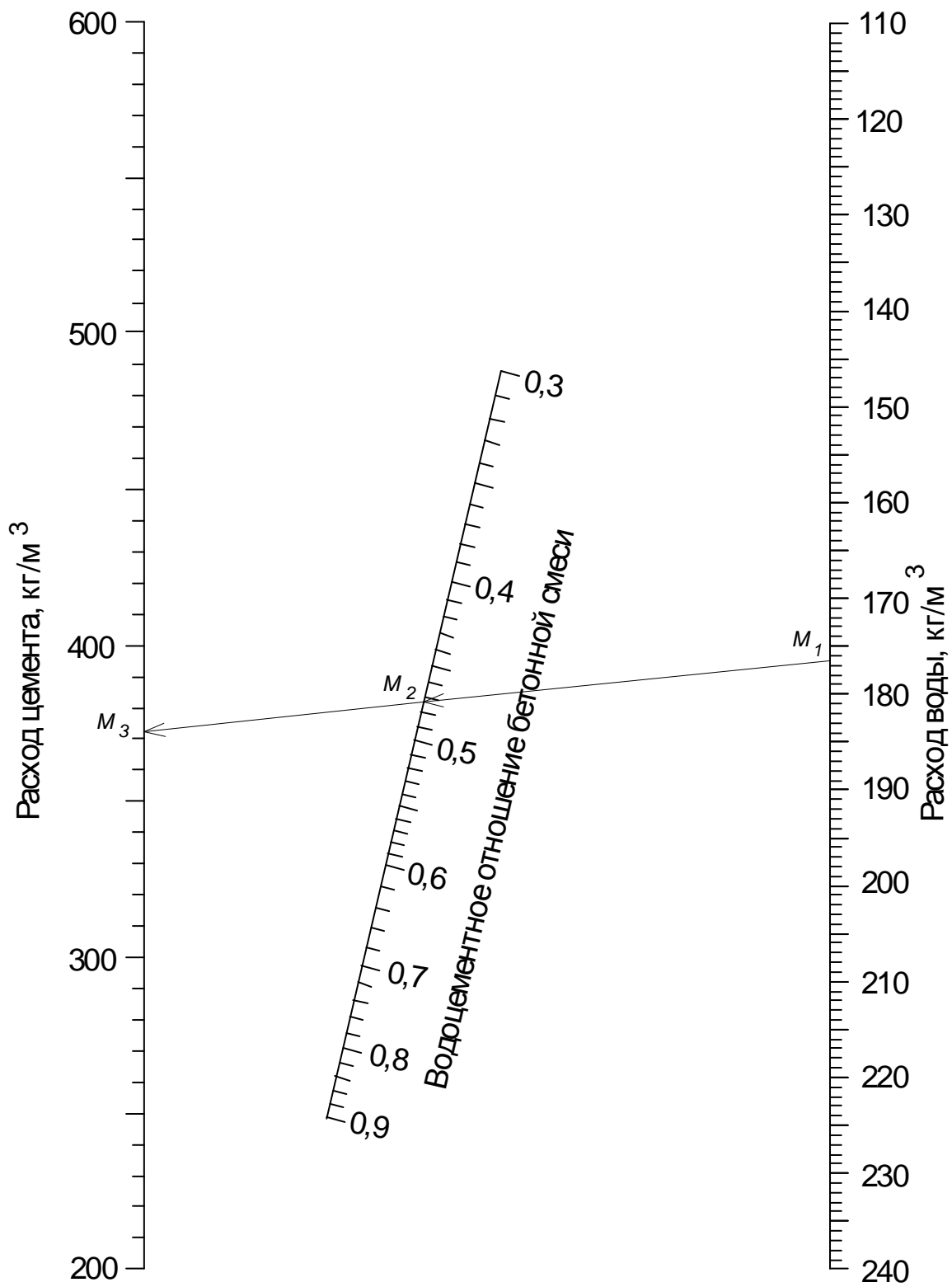


Рис. 3. Номограмма для расчета расхода цемента

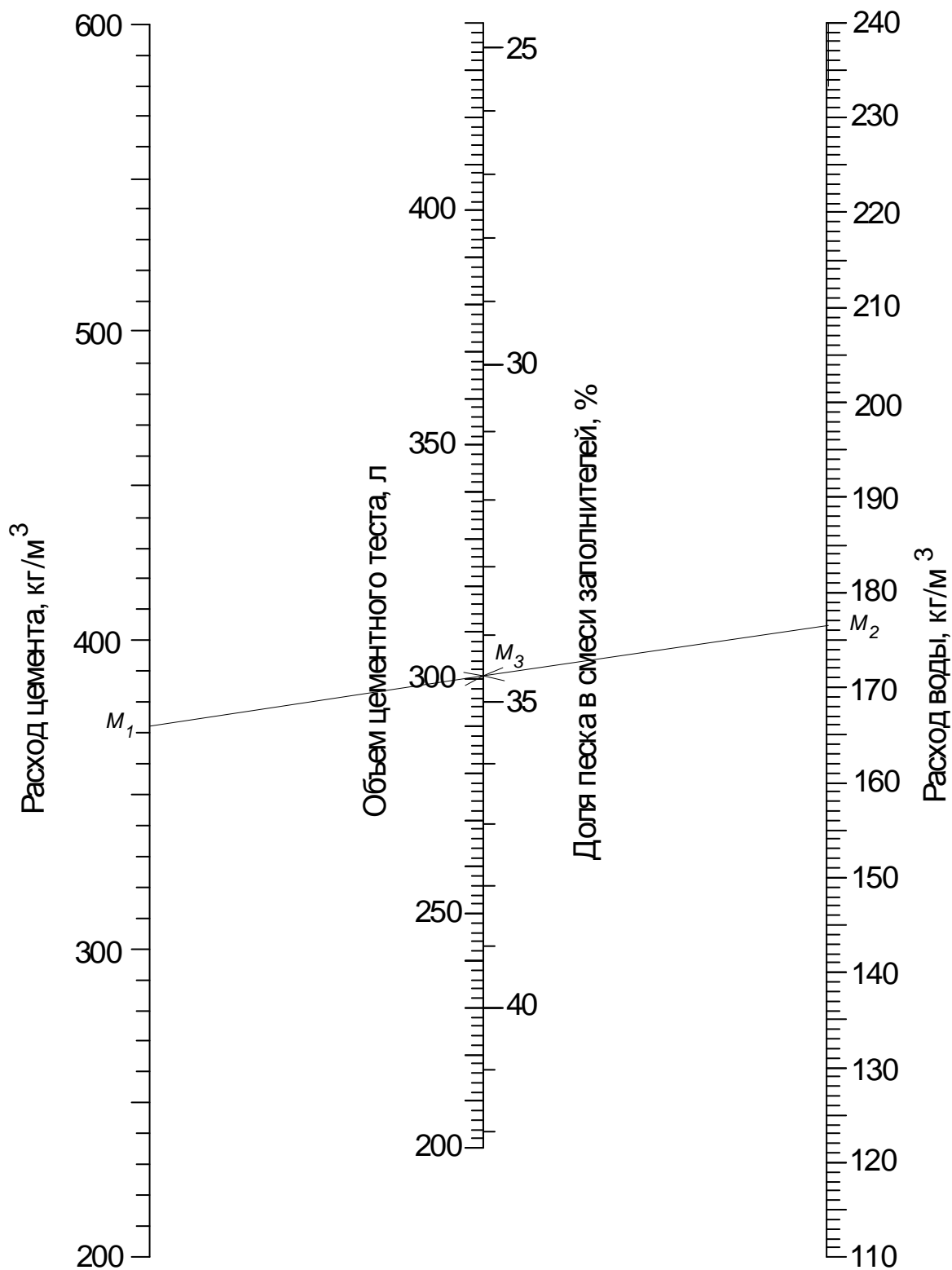


Рис. 4. Номограмма для расчета доли песка в смеси заполнителей

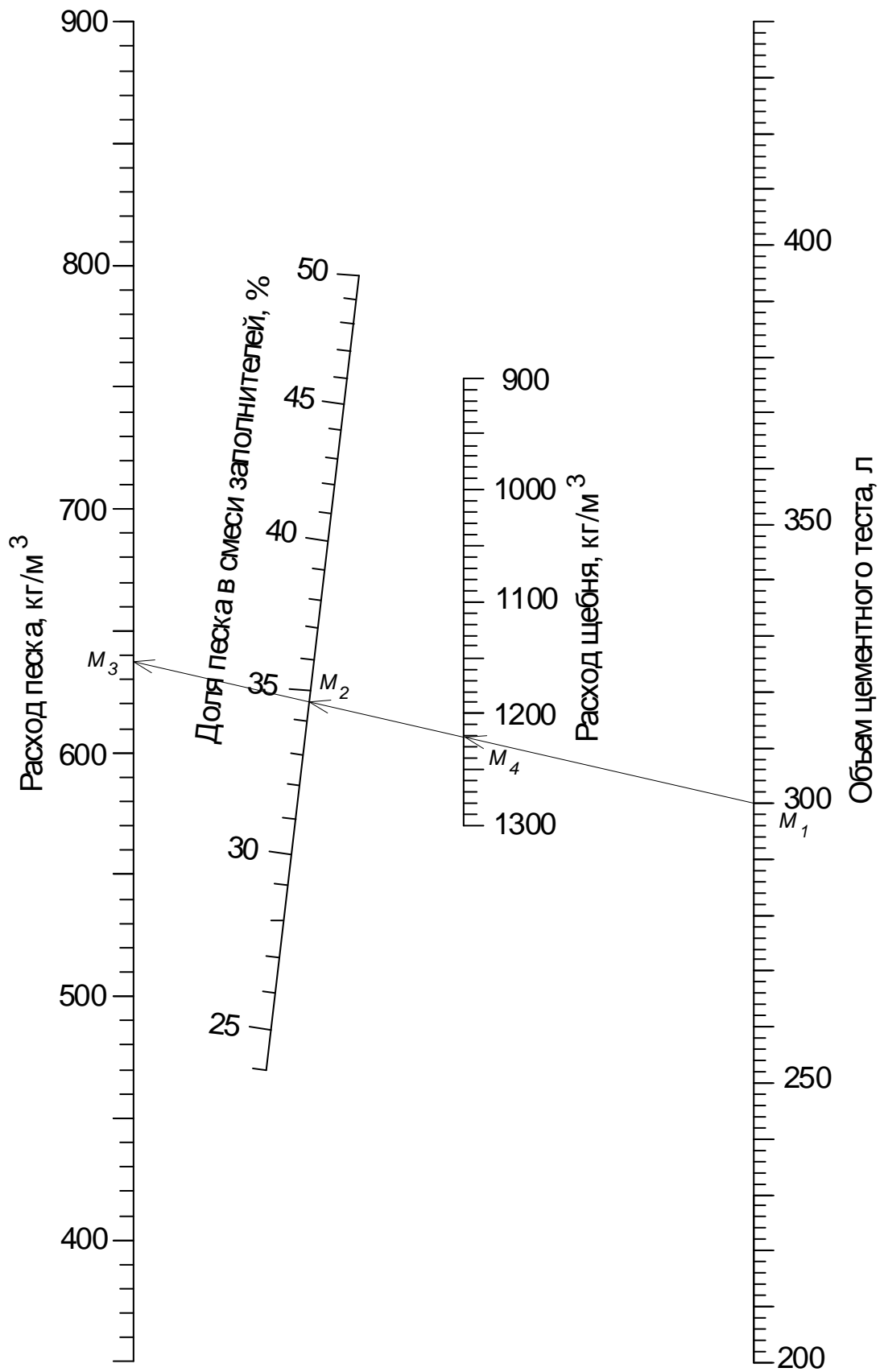


Рис. 5. Номограмма для расчета расхода песка и щебня

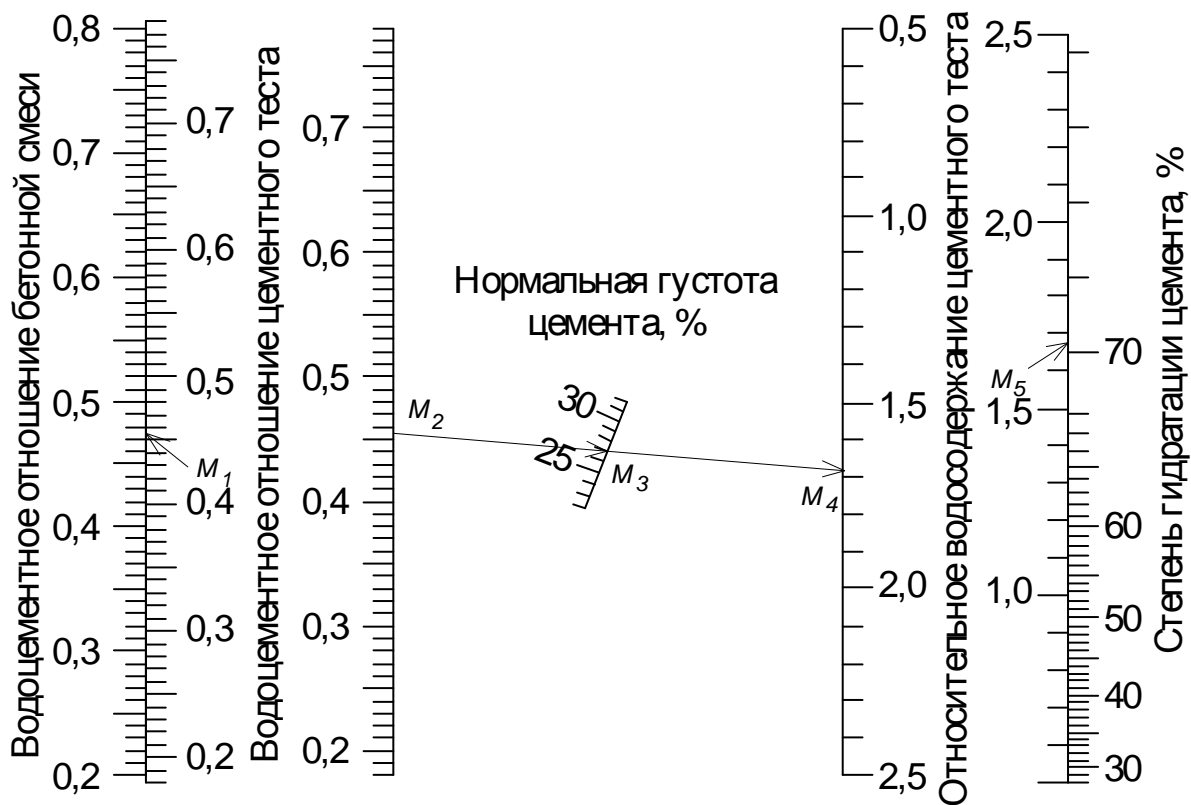


Рис. 6. Номограмма для расчета водоцементного отношения, относительного водосодержания цементного теста, степени гидратации цемента

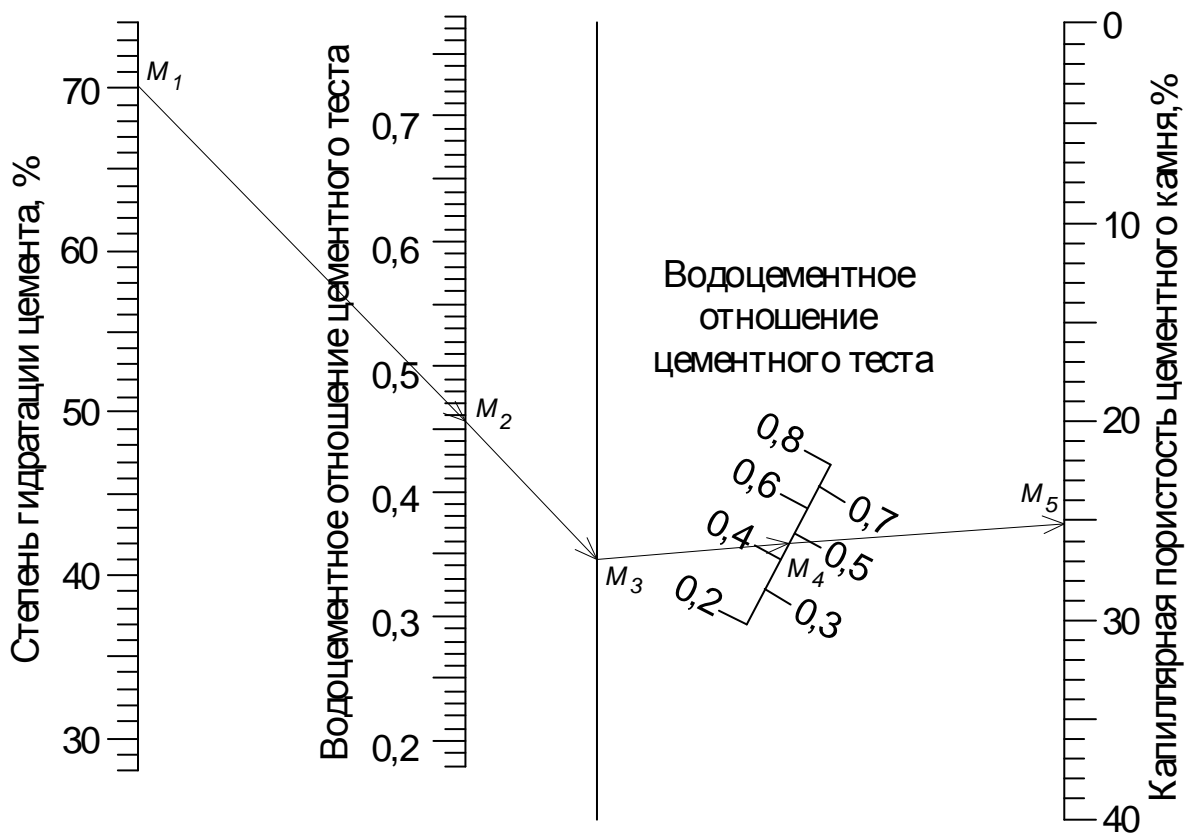


Рис. 7. Номограмма для расчета капиллярной пористости цементного камня



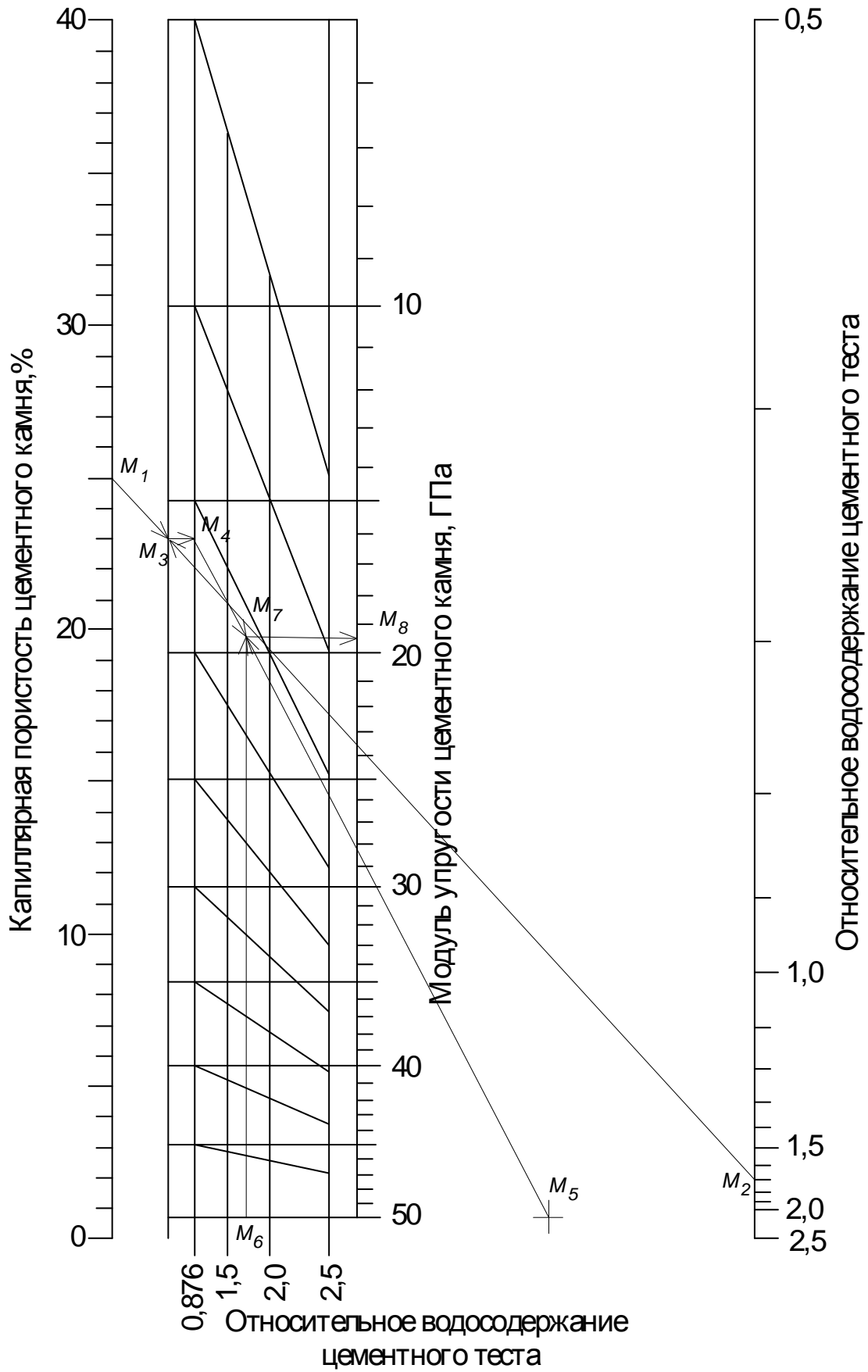


Рис. 8. Номограмма для расчета модуля упругости цементного камня

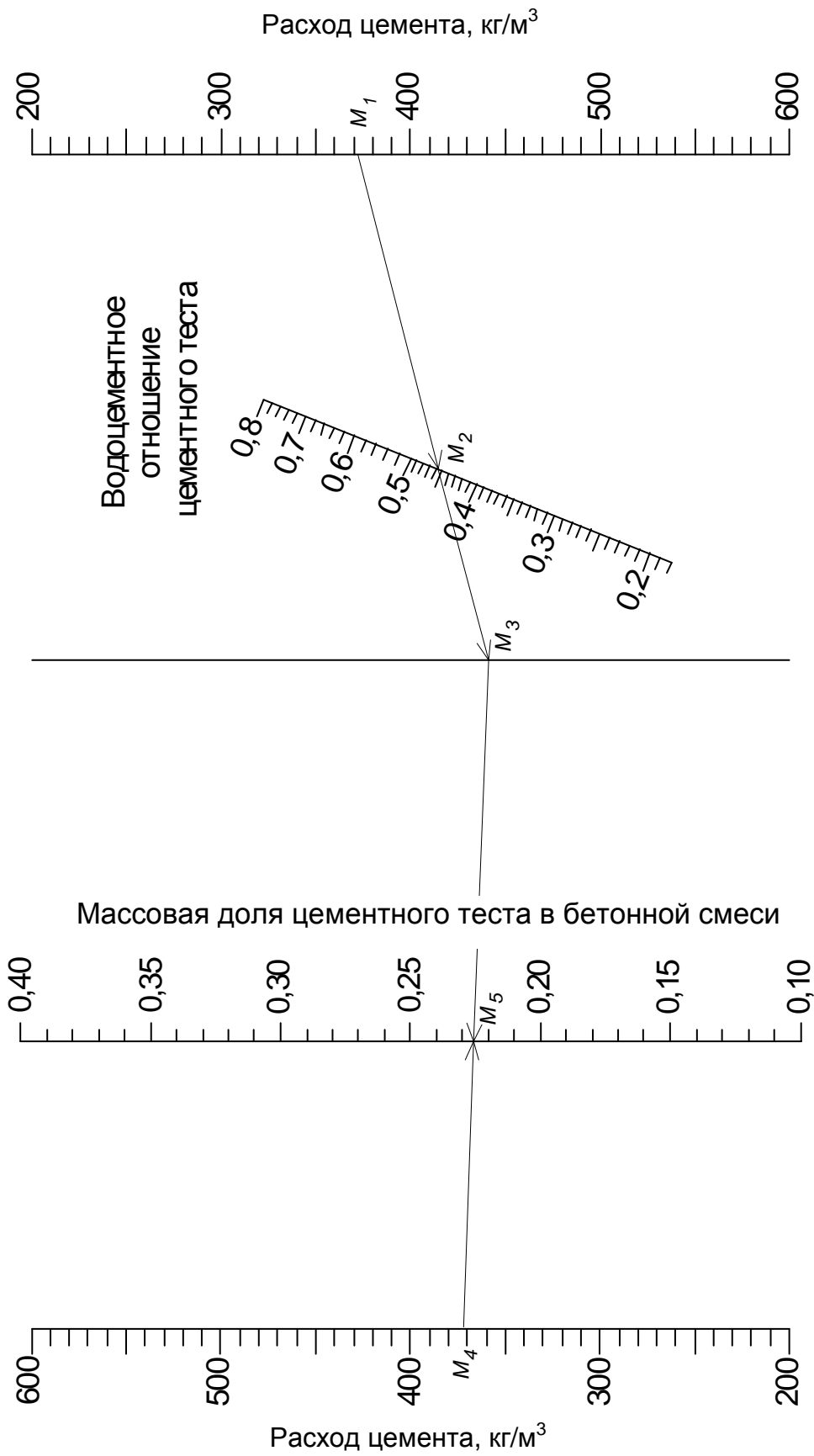


Рис. 9. Номограмма для расчета массовой доли цементного теста в бетонной смеси

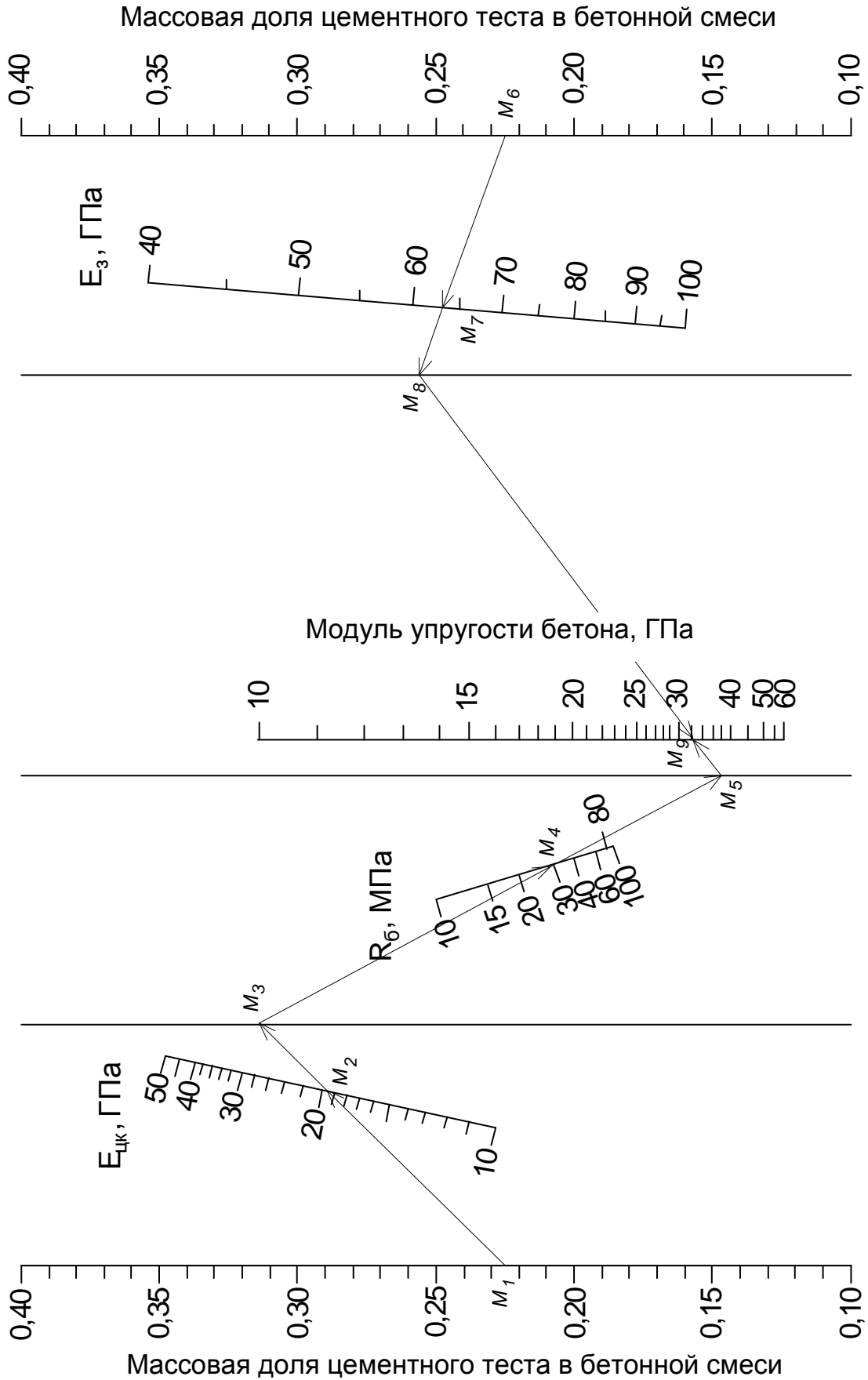


Рис. 10. Номограмма для расчета модуля упругости бетона