

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ**

Шинкевич Е.С., Луцкий Е.С., Чесский Ю. В., Бондаренко Г.Г.
Койчев А.А., **Швецова О.М.** (Одесская государственная академия
строительства и архитектуры)

В настоящее время перед технологами ставятся задачи, которые охватывают как экономические, так и технологические аспекты производства строительных материалов. На стадии эксплуатации задача энерго- и ресурсосбережения может успешно решаться за счет внедрения теплоэффективных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Цель исследования: получение модифицированных силикатных материалов неавтоклавного твердения с улучшенными деформационными свойствами.

Предмет исследования: закономерности изменения модуля упругости модифицированных силикатных материалов плотной и ячеистой структуры под влиянием состава и режимов твердения.

Исследование деформационных свойств материалов с большим затуханием колебаний, в том числе – и композиционных, затруднительно либо вообще невозможно с помощью высокочастотных ультразвуковых установок. Для исследования этих материалов нами применена низкочастотная ультразвуковая установка [1], позволяющая определить их деформационные характеристики с помощью круговых диаграмм адмитанса - комплексной проводимости.

С этой целью образец из исследуемого материала, в виде стержня прямоугольного сечения, присоединяется к стержневому преобразователю. Изменяя частоту генератора, питающего преобразователь, измеряли комплексную проводимость составного преобразователя. Для повышения точности измерений длину образца l выбиралась полуволновой на резонансной частоте преобразователя, а определение скорости звука производилось по третьей гармонике. Частота третьей гармоники образца определяют из выражения [2]

$$f_s = f_c + \frac{M_t}{M_s}(f_c - f_t), \quad (1)$$

где f_t и f_c – резонансные частоты третьей гармоники ненагруженного преобразователя и преобразователя, нагруженного образцом, M_t и M_s – вес преобразователя и образца соответственно.

Кроме того, как показано в [2], формы продольных колебаний стержней образуют ортогональную систему $w(z)/w_{0,i} = \cos(i\pi z/l)$ с соответственными частотами $\omega = i\pi c/l$, где w , z и l – соответственно смещение, координата и длина стержня; $i = 1, 2, 3, \dots$; $w_{0,i}$ – смещение точки приведения (излучающей поверхности стержня); $\omega = 2\pi f_s$ – круговая частота.

$E =$	38,79 v_1	•	- 0,69 $v_1 x_4$	•	- 0,53 $v_1 x_6$	+0,81 x_4^2	•
	+38,2 v_2	+6,4 $v_2 v_3$	+0,64 $v_2 x_4$	+0,64 $v_2 x_5$	+0,39 $v_2 x_6$	+0,55 x_5^2	- 0,54 $x_4 x_6$
	+38,7 v_3	+5,7 $v_1 v_3$	- 0,56 $v_3 x_4$	+1,48 $v_3 x_5$	- 0,4 $v_3 x_6$	+0,56 x_6^2	•
$\ln E =$	3,26 v_1	-0,58 $v_1 v_2$	-0,08 $v_1 x_4$	-0,12 $v_1 x_5$	- 0,17 $v_1 x_6$	-0,32 x_4^2	-0,19 $x_4 x_5$
	-2,95 v_2	-0,94 $v_1 v_3$	•	+0,12 $v_2 x_5$	-0,20 $v_2 x_6$	-0,11 x_5^2	-0,11 $x_4 x_6$
	+3,10 v_3	•	-0,09 $v_3 x_4$	•	-0,11 $v_3 x_6$	•	-0,05 $x_5 x_6$

Соответственно, на основании третьей формы продольных колебаний стержней ($i = 3$) получим выражение для скорости продольной волны в исследуемом образце (стержне) в виде

$$c = 2f_s l / 3, \quad (2)$$

где f_s получено из выражения (1) по результатам эксперимента.

Модуль Юнга для продольной моды колебаний стержня определяется из известного выражения

$$E = \rho c^2, \quad (3)$$

где ρ – плотность материала исследуемых образцов.

Для формирования информационной базы экспериментально статистического (ЭС) моделирования спланирован многофакторный натурный эксперимент. Эксперимент поставлен по специально синтезированному насыщенному плану типа MTQ (mixture – technology – quality) [3]. В качестве смесового фактора варьировалась дисперсность минеральной добавки в виде трепела с $v_i = (425 \pm 75) \text{ m}^2/\text{kg}$. В качестве первого рецептурно-технологического (РТ) фактора варьировалась длительность предварительного выдерживания (ПВ) композиций в естественных условиях $X_4 = (6 \pm 6)$ час, в качестве второго – длительность тепловлажностной обработки (ТВО) – $X_5 = (14 \pm 4)$ час. В качестве третьего – количество добавки гипса – $X_6 = (2,5 \pm 2,5) \%$. Перевод натуральных величин в кодированные (формализованные) осуществляется по формуле $x_i = (X_i - X_{i0}) / \Delta X_i$, где $X_{i0} = (X_{i\max} + X_{i\min}) / 2$ и $\Delta X_i = (X_{i\max} - X_{i\min}) / 2$.

Первичные ЭС модели влияния смесевых и РТ факторов на свойства строились с использованием типовой версии программы COMPEX, реализующей последовательный регрессионный анализ с генерируемой ошибкой эксперимента $S(R)=0,493$ при $\alpha=0,05$ (знак * поставлен на месте эффектов статистически равных 0).

Модели применены для получения новой информации о влиянии факторов состава и технологии на модуль упругости плотных и ячеистых силикатных материалов. ЭС модели, описывающие закономерности влияния удельной поверхности минеральной добавки, содержания добавки гипса и режимов твердения для плотного ($\rho=1400-1500 \text{ kg/m}^3$, с пределом прочности при сжатии $R_{с.ж}=10-20 \text{ МПа}$ и теплопроводностью $\lambda \leq 0,46 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$) (1) и ячеистого силикатного бетона ($\rho=400-500 \text{ kg/m}^3$, с пределом прочности при сжатии $R_{с.ж}=0,5-1,0 \text{ МПа}$ и теплопроводностью $\lambda \leq 0,10 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$) (2) на модуль упругости E имеют вид:

Модель (1) отражает общий характер изменения модуля Юнга E под влиянием смесевых и РТ факторов на этапе образования структуры и твердения и представляет собой модель-произведение планов на симплексе и кубе. Неполные модели, рассчитанные при: $v_1=1$ при $v_2=v_3=0$; $v_2=1$ при $v_1=v_3=0$; $v_3=1$ при $v_1=v_2=0$ позволяют провести отличную от моделей - произведений интерпретацию – по ним можно проанализировать и не зависящие от “смеси v_i ” эффекты влияния РТ факторов.

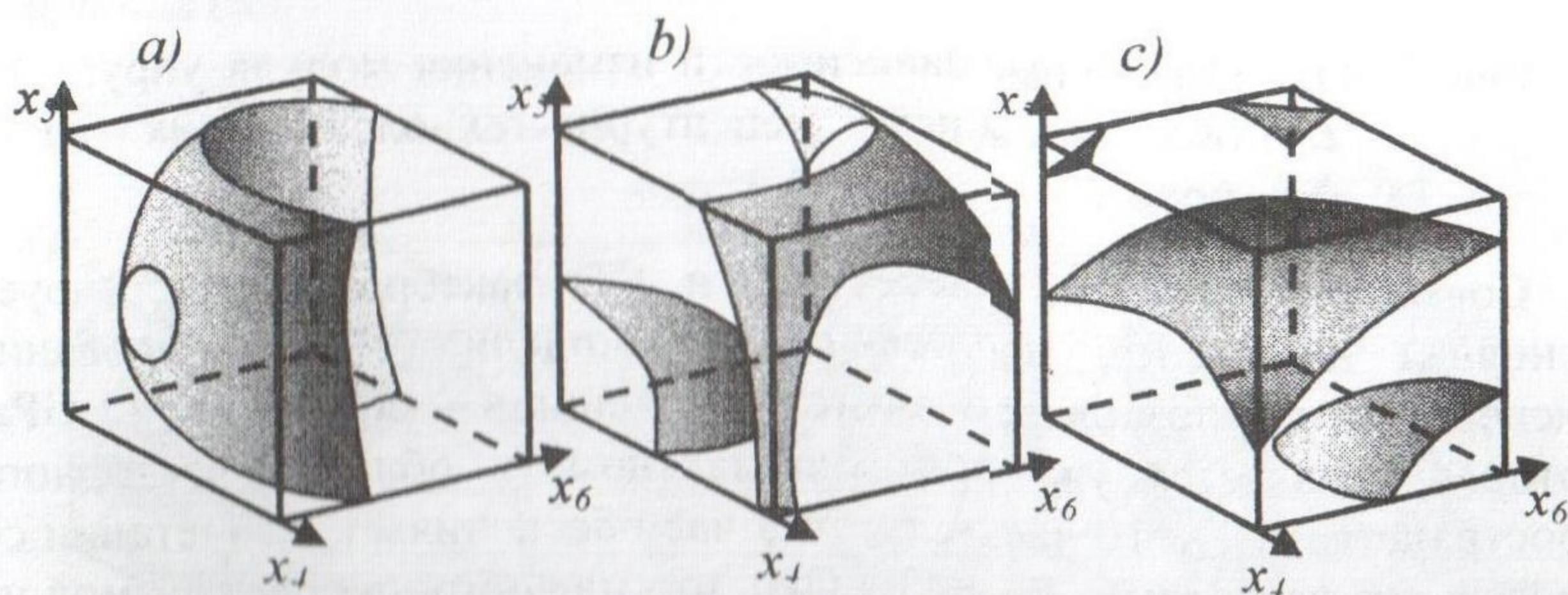


Рис.1. Зависимость $E=(38, 40, 42)$ GPa от дисперсности минеральной добавки: x_4 – длительность ПВ; x_5 – длительность ТВО; x_6 – количество гипса

Из сравнения максимальных значений модуля упругости E_{\max} на кубах, которые соответствуют крупной v_1 (a), средней v_2 (b) и мелкой v_3 (c) дисперсностям, следует, что $E_{\max} = 42,2$ GPa можно получить на тонкодисперсной фракции v_3 . Однако смесь из двух фракций $v_2=v_3=0,5$ обеспечивает $E_{\max} = 43,4$ GPa (рис.1).

На следующем этапе компьютерного анализа по моделям рассчитаны значения E , изменяющиеся под влиянием каждого из анализируемых факторов при фиксировании остальных на заданных уровнях. Как следует из анализа однофакторных зависимостей, для композиций без гипса предпочтительна крупнодисперсная минеральная добавка, а с гипсом – мелкодисперсная (рис.2). Данное явление может косвенно характеризовать влияние взаимодействий между частицами в дисперсной системе на свойства КСМ.

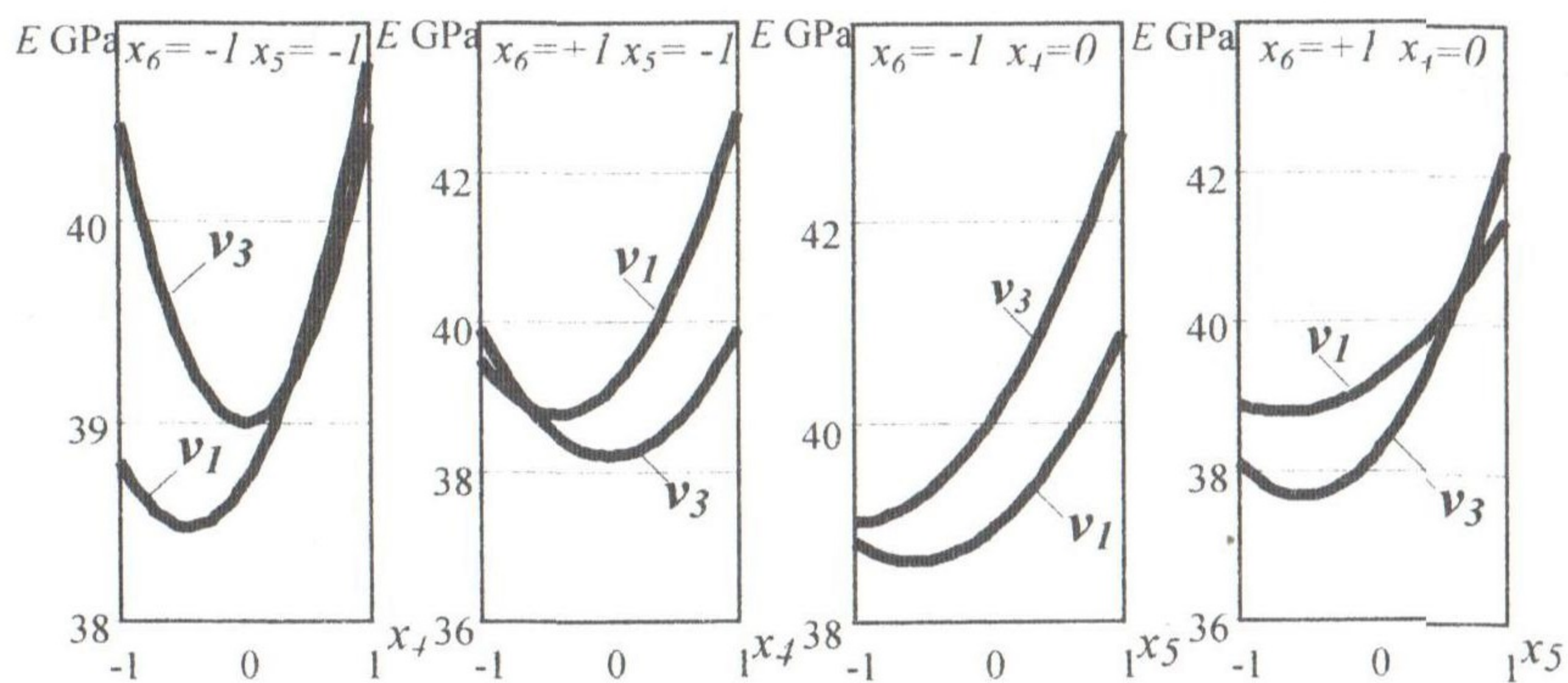


Рис. 2. Однофакторные зависимости изменения модуля упругости E под влиянием рецептурно-технологических (РТ) факторов

Совместное влияние смесевых и РТ факторов иллюстрирует основная диаграмма, построенная по модели (1). Варьирование дисперсности v_i позволяет значительно расширить область $E=42$ GPa, которая появляется уже при минимальном (в области факторного пространства) $\tau_{TBO}=10$ час. А $\tau_{TBO}=18$ час обеспечивает в сочетании со смесевыми факторами $E_{\max}=43,4$ GPa, что иллюстрируется призмой на ребре куба, в которой появляется эквипотенциальные поверхности $E=44$ GPa (рис. 3 a).

Следует отметить влияние длительности предварительной выдержки (ПВ) на модуль упругости активированных композиций. $E \geq 42$ GPa обеспечивается при оптимальном времени $\tau_{пв} = 3-4$ час и

$\tau_{\text{тв}}=8-12$ час, то есть назначать $\tau_{\text{тв}}$ рационально по комплексу критериев качества, учитывая фактор энергоемкости технологии.

По максимальным значениям E в области треугольных диаграмм

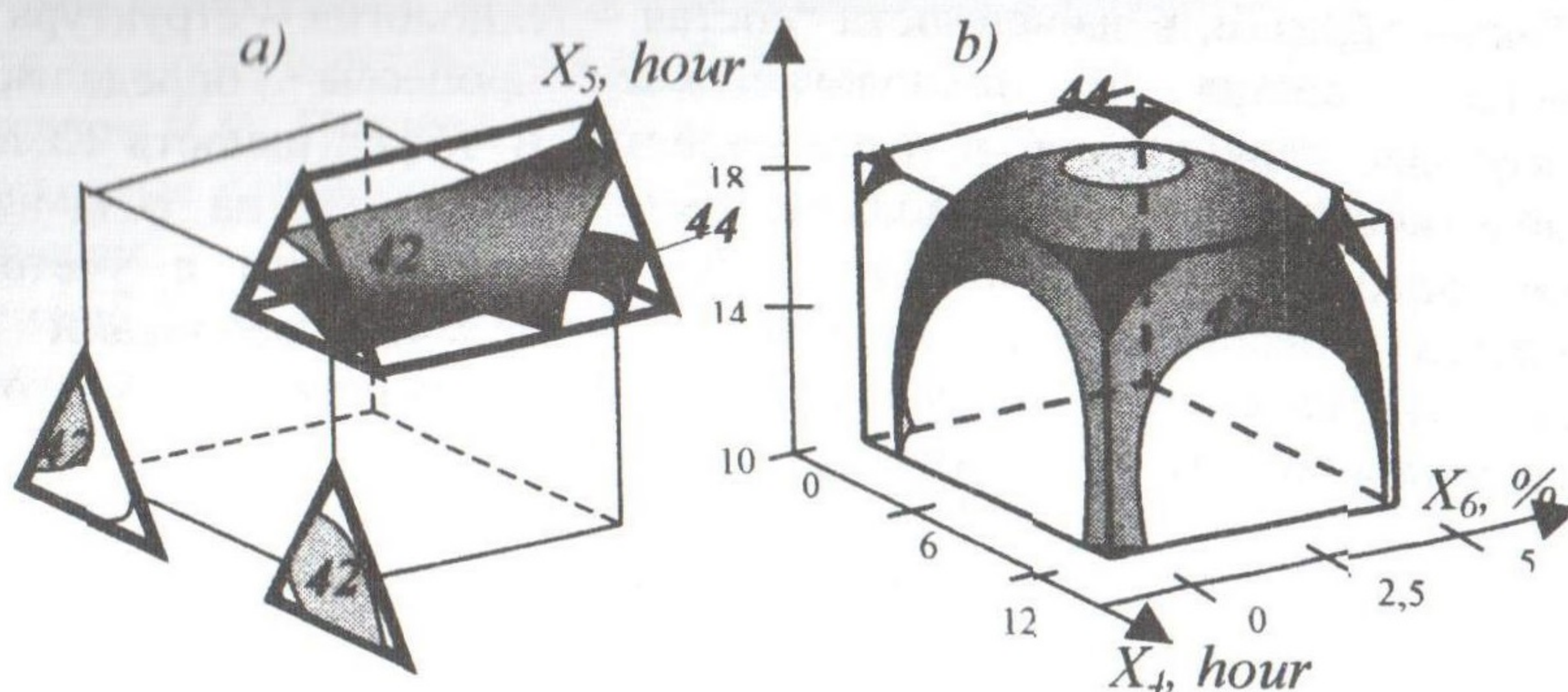


Рис. 3. Оптимальные значения модуля упругости $E=(42, 44)$ ГПа в области факторного пространства, где эквипотенциальные поверхности затемнены

построена изоповерхность, отображающая изменение обобщающего показателя в виде $E_{\text{max}} = 42$ ГПа в области куба (рис.3 б). Область занимает значительный объем куба, что свидетельствует о существенном влиянии дисперсности и позволяет обеспечить гарантированное значение E при комплексе других критериев качества. Содержание добавки гипса также необходимо назначать с учетом рекомендуемых условий образования структуры (v_i) и твердения (x_i).

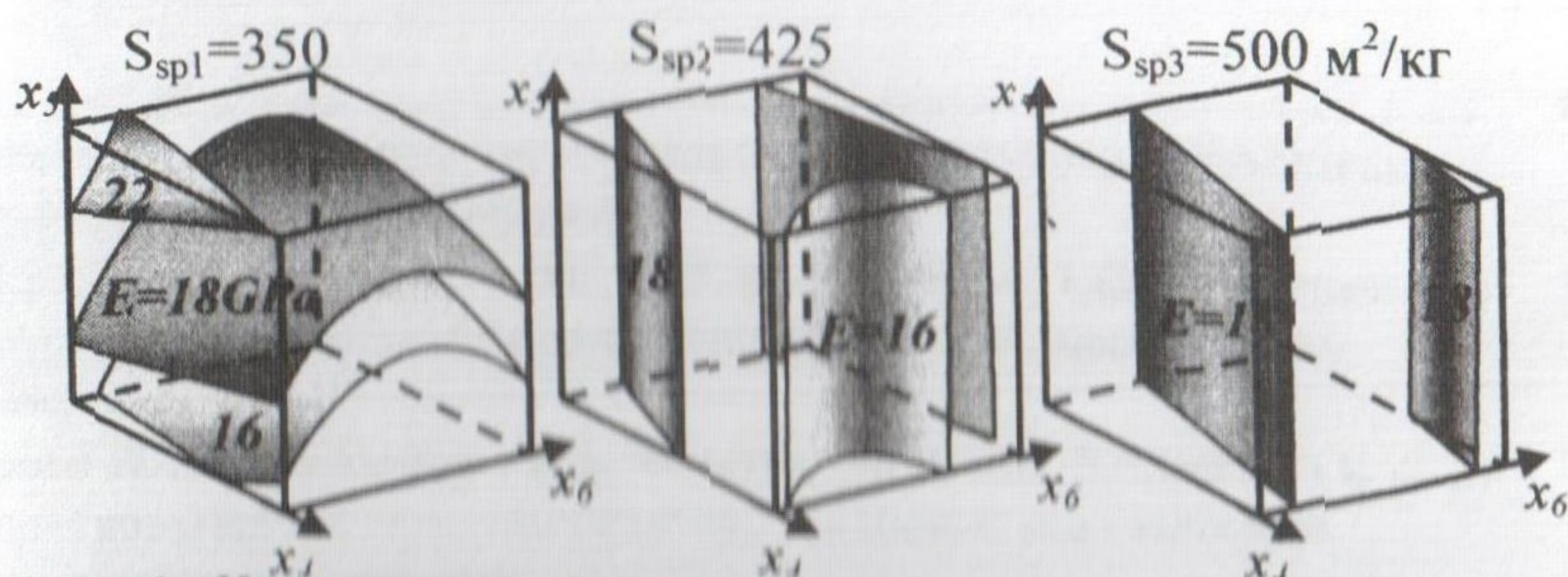


Рис. 4. Изменение модуля упругости под влиянием содержания добавки гипса и режимов твердения для фиксированных значений величины удельной поверхности минеральной добавки

Значение модуля упругости ячеистых силикатных материалов может регулироваться варьируемыми факторами в интервале значений от 13,3 до 21,9 GPa, то есть примерно в 2 раза (рис. 4).

Таким образом, в зависимости “состав – технология – структура – свойства” состав и технологические процессы определяют структурные параметры и в итоге свойства и эффективность КСМ. Технологические процессы должны быть направлены на создание оптимальных структур конкретно для каждого состава с учетом комплекса требований к материалу. Комплекс требований к показателям качества КСМ, в свою очередь, формируется с учетом назначения и области их применения.

Литература

18. Ческая Т. Ю., Ческий Ю. В. Об исследовании акустических и электрических свойств образцов ZnS, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Акустика на пороге XXI века. Сб. трудов VI сессии РАО. М.: Изд. МГГУ, 1997. С.363-366.
19. Методы и приборы ультразвуковых исследований / В кн.: Физическая акустика. Под ред. У. Мэзона. Т. I, Ч. А. М.: Мир. 1966. 592с.
20. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов. И.И. Николаев. Под ред. В.А. Вознесенского. К.: Будивэльник, 1989. 240 с.