

УДК 579.69:666(575.2) (04)

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ СУГЛИНКОВ  
С ДОБАВКОЙ ЗОЛЫ ПРИ АКТИВАЦИИ  
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ РЕАГЕНТОМ**

*М.Т. Касымова* – канд. техн. наук, проф.,  
*А.С. Мавлянов* – докт. техн. наук, проф. БФЭА,  
*М.А. Джусупова* – канд. техн. наук, доц. КГУСТА,  
*Л.Г. Поветьева* – научн. сотр.,  
*Э.К. Сардарбекова* – научн. сотр.

The results of researches of getting ceramic crock, which meets the requirements of standard to the goods of rough and thin building ceramics are given in this work. The researches of microbiological processing of clay raw material of Kyrgyzstan deposits with the adding of Bishkek. Heating electro station ashes are also given. These researches will allow to widen raw materials base of local clay loams for ceramic production.

Решение проблемы увеличения жилищно-строительства и обустройства населенных пунктов непосредственно связано с производством и применением керамических стеновых материалов. Повышение качества керамических изделий обеспечивается правильным подбором и тщательным приготовлением керамической шихты. Этим требованиям соответствует искусственная поликомпонентная шихта, обеспечивающая сырьевой массе необходимые технологические свойства, а готовой продукции – требуемые показатели качества [1, 2].

Применение различных побочных продуктов промышленности в производстве керамических изделий известно. Как отмечается в ряде публикаций [3], побочные продукты про-

мышленности представляют собой материалы, прошедшие технологическую, часто теплотехническую обработку, аккумулирующие в себе огромные запасы тепловой и химической энергии и обладающие в связи с этим ценными технологическими свойствами.

Целью данной работы являлось изучение сушильных и обжиговых свойств сырьевых смесей и керамического черепка, полученного на основе местного микробиологически обработанного глинистого сырья месторождений Токмок, Аджидар, Баш-Карасуу, Кара-Киче и золы Бишкекской ТЭЦ (табл. 1). Это позволяет расширить сырьевую базу местных глинистых суглинков для керамического производства.

*Таблица 1*

Химический состав суглинков и золы БТЭЦ, %

| Месторождение | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>3</sub> | П.п.п. |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|--------|
| Баш-Карасуу   | 53,9             | 13,1                           | 4,45                           | 10,85 | 1,68 | 0,4             | 15,92  |
| Токмок        | 61,79            | 15,88                          | 5,02                           | 10,5  | 2,2  | 1,93            | 7,55   |
| Кара-Киче     | 61,84            | 21,63                          | 1,65                           | 0,2   | 0,88 | 0,43            | 9,92   |
| Аджидар       | 52,4             | 12,9                           | 5,1                            | 11,3  | 4,1  | 2,5             | 11,5   |
| Зола БТЭЦ     | 51,57            | 21,87                          | 3,70                           | 3,09  | 1,24 | 1,47            | 16,54  |

*Таблица 2*

Двухфакторный план эксперимента

| Фактор | Уровни варьирования факторов |       |
|--------|------------------------------|-------|
|        | $x_1$                        | $x_2$ |
| -1     | 0                            | 950   |
| 0      | 35                           | 1000  |
| +1     | 70                           | 1050  |

Таблица 3

Составы сырьевых смесей и физико-технологические свойства керамического черепка

| $x_1$       | $x_2$ | $X_1$ | $X_2$ | Пластическое формование |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             |       |       |       | $Y_1$                   | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ |
| Токмок      |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
| +1          | +1    | 70    | 1050  | 0,09                    | 1,09  | 1,9   | 2,52  | 40,2  | 1,8   |
| +1          | -1    | 70    | 950   | 0,09                    | 1,06  | 1,9   | 2,82  | 39    | 2,2   |
| -1          | +1    | 0     | 1050  | 0,13                    | 1,6   | 4,6   | 5,09  | 21,9  | 1,97  |
| -1          | -1    | 0     | 950   | 0,13                    | 1,6   | 4,6   | 6,38  | 22,2  | 1,74  |
| +1          | 0     | 70    | 1000  | 0,09                    | 1,08  | 1,9   | 2,81  | 41    | 3,1   |
| -1          | 0     | 0     | 1000  | 0,13                    | 1,6   | 4,6   | 4,8   | 22,7  | 1,97  |
| 0           | +1    | 35    | 1050  | 0,08                    | 1,34  | 3,8   | 4,2   | 27    | 7,1   |
| 0           | -1    | 35    | 950   | 0,08                    | 1,37  | 3,8   | 5,9   | 26    | 2,4   |
| 0           | 0     | 35    | 1000  | 0,08                    | 1,34  | 3,8   | 4,8   | 26,1  | 5,2   |
| Баш-Карасуу |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
| +1          | +1    | 70    | 1050  | 1,03                    | 0,86  | 3,6   | 3,8   | 38,2  | 2,8   |
| +1          | -1    | 70    | 950   | 1,03                    | 1,05  | 3,6   | 4,2   | 41,1  | 2,3   |
| -1          | +1    | 0     | 1050  | 0,25                    | 1,6   | 5,51  | 1,2   | 18,3  | 1,55  |
| -1          | -1    | 0     | 950   | 0,25                    | 1,6   | 5,51  | 2,6   | 21,2  | 1,3   |
| +1          | 0     | 70    | 1000  | 1,03                    | 1,01  | 3,6   | 3,86  | 41,1  | 3,7   |
| -1          | 0     | 0     | 1000  | 0,25                    | 1,5   | 5,51  | 1,5   | 20,7  | 1,21  |
| 0           | +1    | 35    | 1050  | 1,03                    | 24    | 1,84  | 2,8   | 31,1  | 5,2   |
| 0           | -1    | 35    | 950   | 1,03                    | 1,29  | 1,84  | 4,9   | 30,2  | 8,8   |
| 0           | 0     | 35    | 1000  | 1,03                    | 1,26  | 1,84  | 3     | 30,2  | 8,4   |
| Аджидаар    |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
| +1          | +1    | 70    | 1050  | 1,05                    | 1,09  | 0,67  | 2,3   | 38,6  | 2,3   |
| +1          | -1    | 70    | 950   | 1,05                    | 1,12  | 0,67  | 2,75  | 37,2  | 2,5   |
| -1          | +1    | 0     | 1050  | 1,6                     | 1,6   | 4,4   | 3,7   | 21,2  | 2,24  |
| -1          | -1    | 0     | 950   | 1,6                     | 1,7   | 4,4   | 3,5   | 17,5  | 1,17  |
| +1          | 0     | 70    | 1000  | 1,05                    | 1,1   | 0,67  | 2,4   | 38,1  | 2,52  |
| -1          | 0     | 0     | 1000  | 1,6                     | 1,5   | 4,4   | 4,8   | 20,6  | 1,65  |
| 0           | +1    | 35    | 1050  | 1,05                    | 1,35  | 2,56  | 2,6   | 21    | 6,9   |
| 0           | -1    | 35    | 950   | 1,05                    | 1,36  | 2,56  | 3,5   | 28    | 5,6   |
| 0           | 0     | 35    | 1000  | 1,05                    | 1,34  | 2,56  | 3,44  | 28    | 7,3   |
| Кара-Киче   |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
| +1          | +1    | 70    | 1050  | 0,098                   | 1,38  | 4,36  | 10,8  | 18,7  | 17,8  |
| +1          | -1    | 70    | 950   | 0,098                   | 1,32  | 4,36  | 9,5   | 22,1  | 13,4  |
| -1          | +1    | 0     | 1050  | 0,08                    | 1,3   | 3,6   | 7,7   | 33,1  | 7,2   |
| -1          | -1    | 0     | 950   | 0,08                    | 1,2   | 3,6   | 6,7   | 36,3  | 9,8   |
| +1          | 0     | 70    | 1000  | 0,098                   | 1,35  | 4,36  | 14,06 | 20,9  | 17,8  |
| -1          | 0     | 0     | 1000  | 0,08                    | 1,3   | 3,6   | 7,1   | 30    | 7,6   |
| 0           | +1    | 35    | 1050  | 0,39                    | 1,66  | 11,58 | 27,6  | 9,7   | 30,7  |
| 0           | -1    | 35    | 950   | 0,39                    | 1,44  | 11,58 | 16,2  | 18    | 17,5  |
| 0           | 0     | 35    | 1000  | 0,39                    | 1,63  | 11,58 | 22,5  | 13    | 23,3  |

В лабораторных условиях по стандартным методикам были определены коэффициент чувствительности к сушке, воздушная и огневая усадки, плотность, водопоглощение и предел прочности при сжатии эталонных образцов и образцов из поликомпонентных сырьевых смесей (табл. 1).

В работе использованы бактерии рода *Bacillus mucilaginosus subsp. nova siliceus*, так называемые силикатные бактерии, в концентрации 100 тыс. микробных клеток. Микробиологический реагент применен в виде отстоянной взвеси измельченного природного мха в воде, используемой для приготовления глиняного теста.

Для эксперимента был принят двухфакторный план (табл. 2). Рецептными параметрами выбраны:  $x_1$  – количество золы в сырьевой смеси (0,35,70 %);  $x_2$  – температура обжига (950, 1000, 1050 °С).

Экспериментальные данные по использованию золы БТЭЦ в качестве второго компонента двухкомпонентных сырьевых керамических смесей и показатели физико-технических свойств приведены в табл. 3.

Критериями оптимизации выбраны:  $Y_1$  – коэффициент чувствительности к сушке  $K_{\text{ч}}$ ;  $Y_2$  – плотность керамического черепка  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>);  $Y_3$  – воздушная усадка  $L_{\text{возд}}$  (%);  $Y_4$  – общая усадка  $L_{\text{общ}}$  (%);  $Y_5$  – водопоглощение  $W$  (%);  $Y_6$  – прочность на сжатие  $R_{\text{сж}}$  (МПа).

Расчет коэффициентов математических моделей проведен методом наименьших квадратов по программе MNQ. Графические образы моделей рассчитывались по программе NOMO (рис. 1–4).

Анализ моделей (табл. 3) и их графических образов показал, что у керамического черепка на основе глинистого сырья месторождения Баш-Карасуу по мере увеличения добавки золы

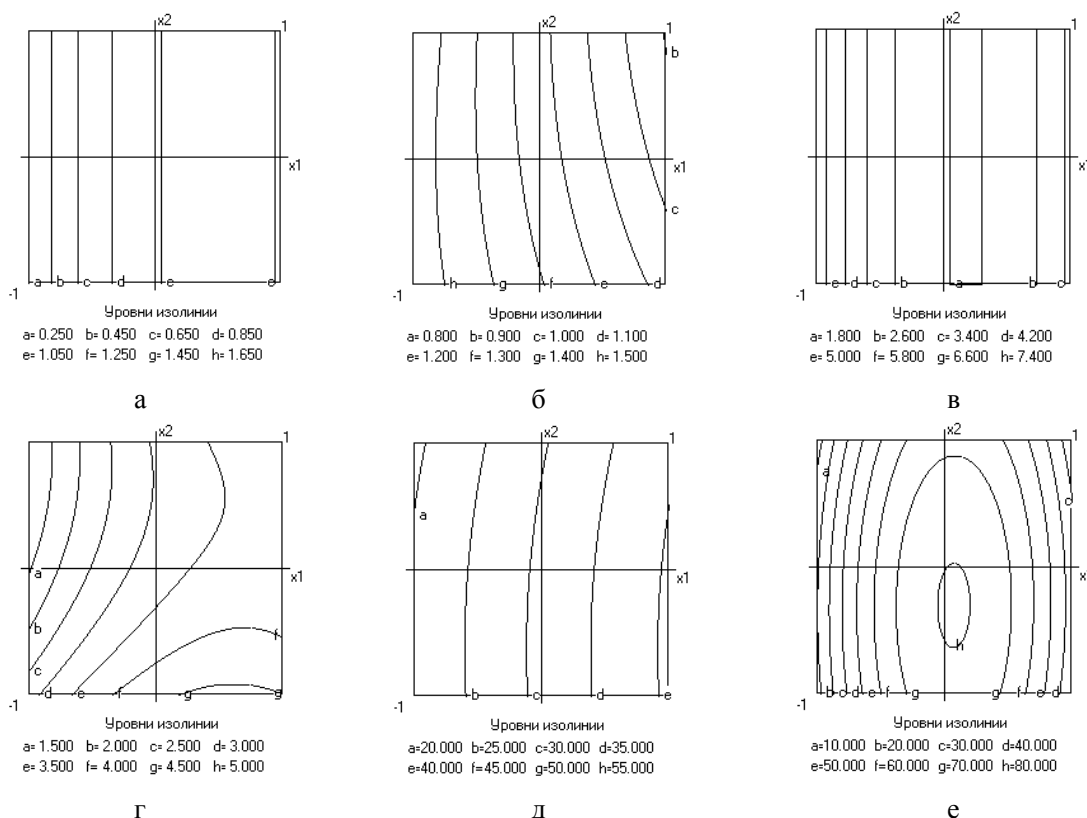


Рис. 1. Номограммы свойств керамического черепка на основе суглинка Баш-Карасуу:

а)  $Y_1$  – коэффициент чувствительности; б)  $Y_2$  – плотность; в)  $Y_3$  – воздушная усадка; г)  $Y_4$  – общая усадка; д)  $Y_5$  – водопоглощение; е)  $Y_6$  – прочность на сжатие на факторной плоскости  $x_1$  и  $x_2$ .

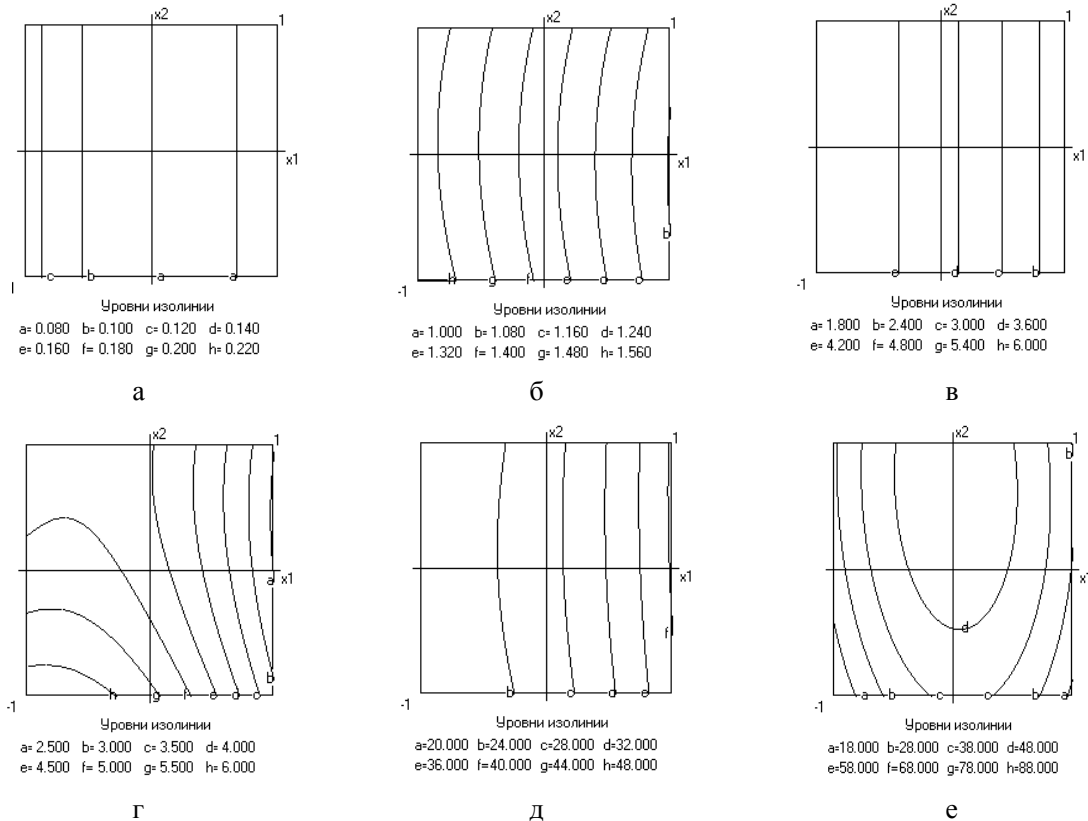


Рис. 2. Номограммы свойств керамического черепка на основе суглинка Токмок:

- а)  $U_1$  – коэффициент чувствительности; б)  $U_2$  – плотность; в)  $U_3$  – воздушная усадка; г)  $U_4$  – общая усадка; д)  $U_5$  – водопоглощение; е)  $U_6$  – прочность на сжатие на факторной плоскости  $x_1$  и  $x_2$ .

от 0 до 35% коэффициент чувствительности  $U_1$  увеличивается от 0,25 до 1,03 и остается неизменным при содержании золы до 70%.

Плотность  $U_2$  снижается с 1,6 до 0,9 г/см<sup>3</sup> при увеличении содержания золы до 70% (рис. 1, б). Воздушная усадка  $U_3$  снижается от 5 до 1,8% при увеличении содержания золы до 35%. При содержании золы до 40% держится постоянной. При увеличении содержания золы более 40% (рис. 1, в) снова повышается. Общая усадка  $U_4$  повышается от 1,2 до 4,5% по мере увеличения содержания золы до 70% (рис. 1, г). Водопоглощение (рис. 1, д)  $U_5$  повышается от 20 до 40% при увеличении содержания золы до 70%. Прочность  $U_6$  увеличивается от 1 до 8 МПа (рис. 1, е). Максимальная прочность обеспечивается при содержании золы в пределах 35–40% и температуре обжига 970–1000 °С (табл. 3). Повышение температу-

ры обжига более 1000 °С и добавка золы свыше 40% ведет к снижению прочности.

Для сырьевых смесей на основе глинистого сырья месторождения Токмок превышение 50%-го содержания золы до 17% ведет к увеличению коэффициента чувствительности. (рис. 2, а). Плотность керамического черепка  $U_2$  снижается с повышением содержания золы от 1,6 до 1 г/см<sup>3</sup> (рис. 2, б). Воздушная усадка  $U_3$  снижается от 4,6 до 2%; общая усадка  $U_4$  – от 6 до 2,5% по мере увеличения содержания золы до 70% (рис. 2, в). Водопоглощение  $U_5$  увеличивается от 22 до 40% при увеличении содержания золы до 70% (рис. 2, д). Прочность  $U_6$  увеличивается от 1,8 до 5,2 МПа при содержании золы 20–40% и температуре обжига более 980 °С (рис. 2, е).

Для глинистого сырья месторождения Аджидар (рис. 3, а) введение 70%-й золы снижает

коэффициент чувствительности  $Y_1$  до 1,05. Плотность  $Y_2$  значительно снижается (от 1,6 до 1,1 г/см<sup>3</sup>) при увеличении содержания золы до 70% (рис. 3, б). Воздушная и общая усадка  $Y_3$ ,  $Y_4$  существенно снижаются по мере увеличения добавки золы до 70% (рис. 3, в, г). Воздушная усадка снижается от 4,2 до 1,2% (рис. 3, в), а общая усадка (рис. 3, г) – от 4,2 до 2,2%. Водопоглощение  $Y_5$  растет с увеличением содержания золы от 20 до 38% (рис. 3, д). Прочность  $Y_6$  керамического черепка (рис. 3, е) растет от 1 до 6 МПа.

Для сырья месторождения Кара-Киче оптимальное значение коэффициента чувствительности, равное 0,38, получено при содержании золы 20–40% (рис. 4, а). Наибольшая плотность черепка  $Y_2$  получена при температуре обжига выше 1000 °С и содержании золы 35% (рис. 4, б). Воздушная усадка  $Y_3$  (рис. 4, в) повышается от 3 до 11,4% по мере увеличения

содержания золы до 30%. Оптимальное значение водопоглощения 9,7% получено при содержании золы от 35 до 45% и температуре обжига от 1000 до 1050 °С (рис. 4, д). Прочность  $Y_6$  растет по мере повышения температуры обжига и добавки золы (рис. 4, е) от 0,7 до 30 МПа. Наибольшее значение предела прочности 30 МПа получено при содержании золы 35–50% и температуре обжига 1000–1050 °С.

Результаты эксперимента показали, что наивысшие прочностные характеристики имеет глинистое сырье месторождения Кара-Киче с добавкой золы Бишкекской ТЭЦ.

Прочность при сжатии эталонных образцов, полученных при  $t_{обж} = 950$  °С, составила 9,8 МПа; при  $t_{обж}=1000$  °С – 7,6 МПа; при  $t_{обж}=1050$  °С – 7,2 МПа. При введении в сырьевую смесь 35% золы предел прочности при сжатии составил: 17,5 МПа при  $t_{обж}=950$  °С;

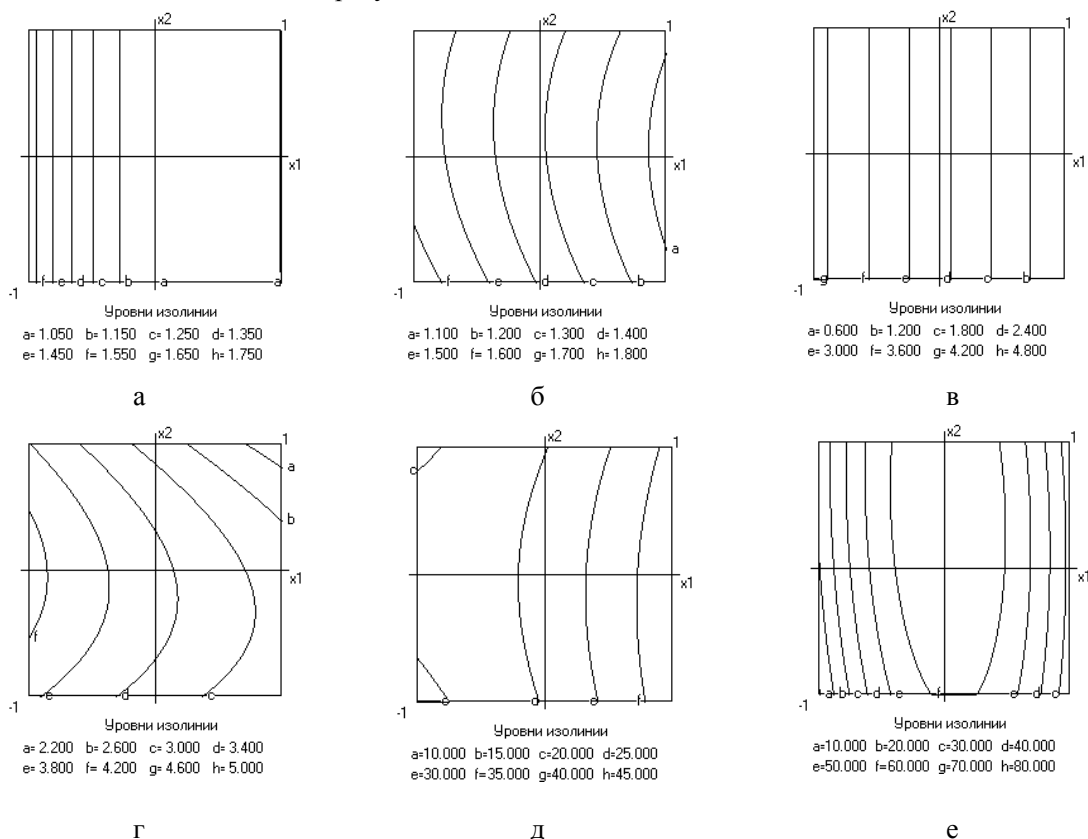


Рис. 3. Номограммы свойств керамического черепка на основе суглинка Аджидар:  
 а)  $Y_1$  – коэффициент чувствительности; б)  $Y_2$  – плотность; в)  $Y_3$  – воздушная усадка;  
 г)  $Y_4$  – общая усадка; д)  $Y_5$  – водопоглощение; е)  $Y_6$  – прочность на сжатие на факторной плоскости  $x_1$  и  $x_2$ .

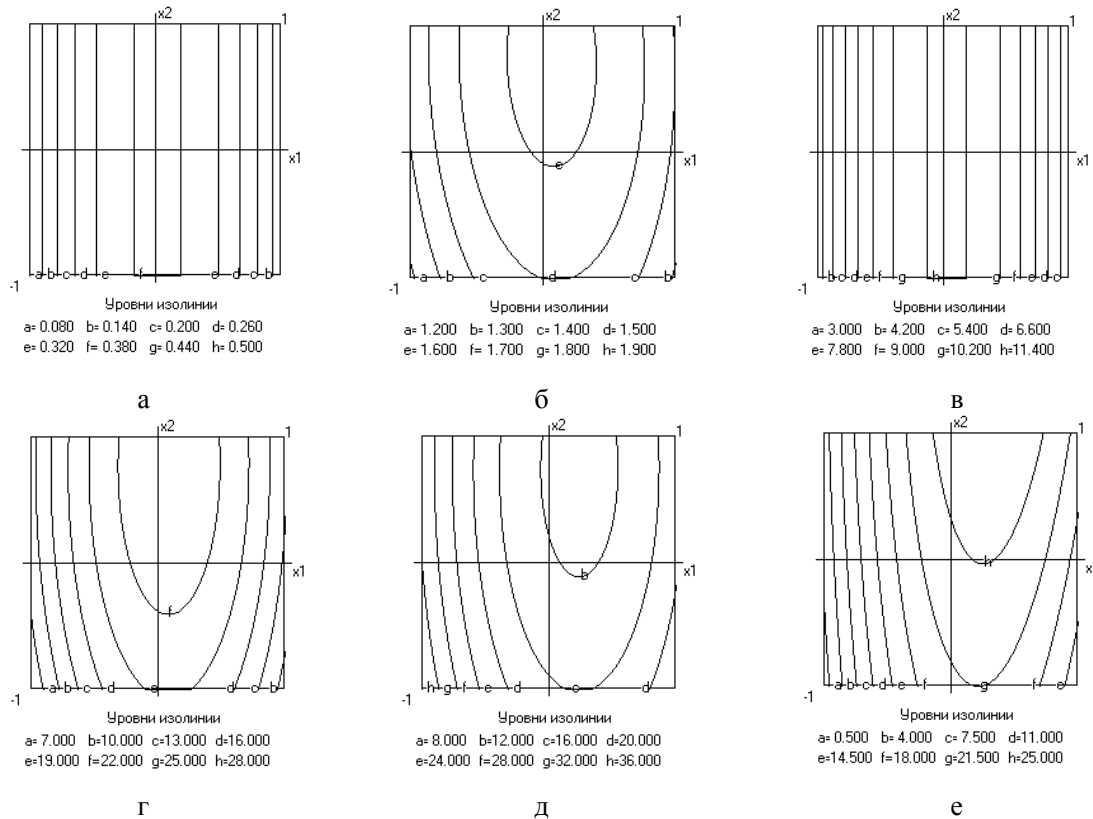


Рис. 4. Номограммы свойств керамического черепка на основе глины Кара-Киче:

а)  $Y_1$  – коэффициент чувствительности; б)  $Y_2$  – плотность; в)  $Y_3$  – воздушная усадка;  
г)  $Y_4$  – общая усадка; д)  $Y_5$  – водопоглощение; е)  $Y_6$  – прочность на сжатие на факторной плоскости  $x_1$  и  $x_2$ .

23,3 МПа – при  $t_{\text{обж}}=1000$  °С; 30,7 МПа – при  $t_{\text{обж}}=1050$  °С. Введение 70% золы приводит к изменению прочности при сжатии образцов, обожженных при 950 °С, 1000 °С и 1050 °С, до 13,4 МПа; 17,8 МПа и 17,8 МПа, соответственно. Водопоглощение образцов без добавки золы равно 30%. Для керамических образцов из сырьевых смесей с добавлением золы, обожженных при 950 °С, 1000 °С и 1050 °С, водопоглощение снижается до 18%, 13% и 9,7% соответственно. Водопоглощение 9,7% для образцов с добавлением 35% золы БТЭЦ является оптимальным. В работе экспериментально подтверждена возможность использования сырьевых смесей для производства керамической плитки для внутренней облицовки стен.

#### Литература

1. Глибина И.В., Зверев В.Б. Строительная керамика с использованием побочных продуктов промышленности // Строительные материалы из попутных продуктов промышленности. – Л.: ЛИСИ, 1978.
2. Глибина И.В., Зверев В.Б., Загуляев Е.Б. О возможности получения крупноразмерных керамических изделий // Строительные материалы из попутных продуктов промышленности. – Л.: ЛИСИ, 1983.
3. Боженов П.И., Глибина И.В., Мавлянов А.С. Исследование формовочных свойств искусственных шихт строительной керамики // Строительные материалы, 1983.