



(18)-0379-0

## ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВОДОВ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПО КРИТЕРИЯМ СИЛЫ РАСПОРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А. М. Югов<sup>1</sup>, А. В. Ихно<sup>2</sup>, Т. В. Жмыхова, С. О. Титков<sup>3</sup>

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> atyrus@mail.ru, <sup>2</sup> ihnoanna@mail.ru, <sup>3</sup> titkvs@mail.ru

Получена 02 июля 2018; принята 21 сентября 2018.

**Анотация.** В статье рассмотрено проведение полного факторного эксперимента типа 2 в степени «к». Экспериментальный план был реплицирован проведением двух параллельных опытов. Проверена гипотеза воспроизводимости опытов, которая подтвердила факт отсутствия необходимости проведения повторного эксперимента. Представлена эмитационная модель. Методом наименьших квадратов были найдены коэффициенты уравнения регрессии. Коэффициенты уравнения были проверены на статистическую значимость, а модель на адекватность. Анализ модели показал значимость не только линейных эффектов, но и парных взаимодействий факторов. Была установлена совместимость эффектов. Для получения дополнительной информации о результатах эксперимента был применен метод линейной интерполяции экспериментальных данных, была построена поверхность отклика, а также двумерные сечения поверхности отклика.

**Ключевые слова:** факторный эксперимент, метод наименьших квадратов, адекватность модели, линейная интерполяция.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛЕПІНЬ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ ЗА КРИТЕРІЯМИ СИЛИ РОЗПОРУ ПРИ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

А. М. Югов<sup>1</sup>, Г. В. Ихно<sup>2</sup>, Т. В. Жмихова, С. О. Тітков<sup>3</sup>

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> atyrus@mail.ru, <sup>2</sup> ihnoanna@mail.ru, <sup>3</sup> titkvs@mail.ru

Отримана 02 липня 2018; прийнята 21 вересня 2018.

**Аннотація.** У статті розглянуто проведення повного факторного експерименту типу 2 в ступені «к». Експериментний план було репліковано проведенням двох паралельних дослідів. Перевірено гіпотезу відтворюваності дослідів, яка підтвердила факт відсутності необхідності проведення повторного експерименту. Представлена емітаційна модель. Методом найменших квадратів були знайдені коефіцієнти рівняння регресії. Коефіцієнти рівняння були перевірені на статистичну значущість, а модель на адекватність. Аналіз моделі показав значимість не тільки лінійних ефектів, але і парних взаємодій чинників. Була встановлена сумісність ефектів. Для отримання додаткової інформації про результати експерименту був застосований метод лінійної інтерполяції експериментальних даних, була побудована поверхня відгуку, а також двовимірні перерізи поверхні відгуку.

**Ключові слова:** факторний експеримент, метод найменших квадратів, адекватність моделі, лінійна інтерполяція.

## FULL FACTOR EXPERIMENT FOR OPTIMIZATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE GLASS-FURNACE ARCHES

Anatoliy Yugov<sup>1</sup>, Anna Ihno<sup>2</sup>, Tatiana Zhmykhova, Sergey Titkov<sup>3</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup>amyrus@mail.ru, <sup>2</sup>ihnoanna@mail.ru, <sup>3</sup>titkvs@mail.ru*

*Received 02 July 2018; accepted 21 September 2018.*

**Abstract.** The article considers the conduct of a full factorial experiment. The hypothesis of the reproducibility of the experiments was verified, which confirmed the fact that there was no need to conduct a repeat experiment. The emitting model is presented. By the method of least squares, the coefficients of the regression equation were found. The analysis of the model has shown the significance of not only linear effects but also of paired interactions of factors. The response surface is constructed, as well as the two-dimensional cross sections of the response surface.

**Keywords:** factor experiment, furnace arch, least squares method, model adequacy, linear interpolation.

Before the development of the experiment plan on the basis of a priori information, the factors influencing the strength of the archway ( $P$ ,  $kN$ ) were identified, such factors include: coefficient depending on the temperature under the roof in the reaction chamber of the furnace ( $k$ ), the span of the arch ( $B$ ) and the ratio of the boom lift ( $f$ ) to the span ( $B$ ) (fig. 1).

The frameworks of the furnaces of glassmaking production are calculated on the basis of the spacer efforts created by the arch [1–4]. Calculation of the arch spacer is based on the most difficult case, when the arch becomes exposed under the influence of the temperature expansion of the inner layers (fig. 2, 3).

The most crucial moment of redistribution of forces in the elements of the metal frame system of glassmaking furnaces falls on the period of putting them into operation [5]. The rise in the temperature regime leads [6] to the appearance of an additional growth of the lining and an increase in the expansion of the arch of the furnace [7–10]. The maximum coefficient of thermal expansion is inherent in the dinas refractory, which forms the arch of the furnace and lies within  $11,5\text{--}13,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  [11,12].

It is believed that with a mass of the arch  $g$ , a load equal to half the mass of the arch, applied to the middle of the rod, will act on each rod [13]. Then from the equality of the twisting moments with respect to the support point A it follows that:

$$\frac{g}{2} \cdot \frac{1}{4} = Ph, \text{ whence } P = \frac{gL}{8h}, \quad (1)$$

where  $h$  – arrow of the arch in m;

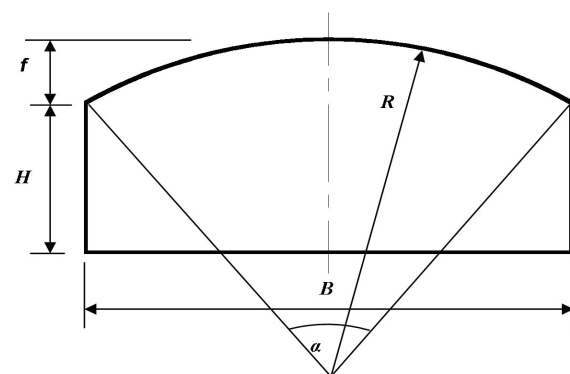
$L$  – span of the arch in m;

$g$  – mass of the arch between the posts in t;

$P$  – expander of the arch.

As can be seen from equation (1), the expansion of the arch is greater the greater the relative value of the boom and the smaller the central angle. The heating casing expands and creates additional pressure on the heels. To take this pressure into account, the calculated value  $P$  at the temperature under the roof of the furnace to  $900 \text{ } ^\circ\text{C}$  is multiplied by 2, up to  $1\,000 \text{ } ^\circ\text{C}$  multiplied by 2.5 and up to  $1\,300 \text{ } ^\circ\text{C}$  by 3, and to  $1\,500 \text{ } ^\circ\text{C}$  by 3.5.

To obtain statistical data, more than 30 glass-making furnaces were inspected. On their basis,



**Figure 1.** Cross section of the reaction chamber:  $B$  – chamber width, m;  $H$  – chamber height, m;  $f$  – arch lifting boom, m;  $R$  – boom radius arch, m;  $\alpha$  – the central corner of the arch, m.

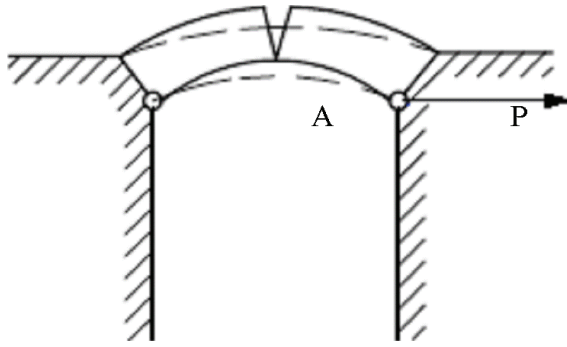


Figure 2. Arch spacer.

regression dependences of the constructive decisions of glass furnaces have been constructed. Graphs of regression dependencies are presented in figures 4–6. The position of the center of the arch circumference can be found by the formula (2):

$$R = \frac{1}{8f} \cdot (B^2 + 4f^2). \quad (2)$$

The central angle  $\alpha$  can be expressed by the formula (3):

$$\alpha = 4 \arcsin \left[ \frac{2f}{\sqrt{(B^2 + 4f^2)}} \right]. \quad (3)$$

Cross section of the arch:

$$S_{ca} = \frac{\pi \alpha h_{ca}}{360} \cdot (2R + h_{ca}). \quad (4)$$

### Main part

These factors are characterized as quantitative, since they are given by numerical values that determine possible areas of change of the parameter under consideration [14–17].

When constructing a mathematical model, a transition from the actual (natural) value of the factor to the coded (standardized) one is made.

In constructing a mathematical model, a transition from the actual (natural) value of the factor to the coded (standardized) one was carried out, according to the formula (4):

$$x_i = \frac{x_i - x_{j_0}}{\Delta x_j}, \quad (4)$$

where  $x_i$  – the normalized value of the factor;

$x_j$  – the natural value of the factor;

$x_{j_0}$  – the main factor level;

$\Delta x_j$  – the factor variation interval.

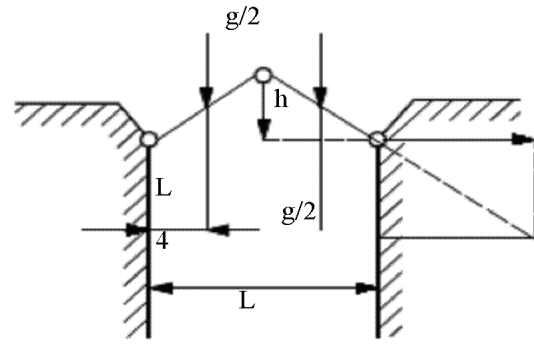


Figure 3. Scheme of calculating the arch spacer.

The designation of the relevant factors, as well as their coding, are presented in table 1.

The implementation of the full factorial experiment (PFE) with the variation of all factors at two levels required 23 experiments. In order to evaluate the pure error of the experiment, the plan was replicated. According to the Cochran distribution table, with a significance level of  $\alpha = 0.05$ , the critical value of the Cochran test was determined, and  $G_{cr} = 0.6798$  was obtained. Since  $G_p < G_{cr}$ , the hypothesis of homogeneity of variances is adopted, thus, there was no need for a re-experiment.

After carrying out the experiments, an imitation model was constructed at all points of the factor space and the coefficients of the regression equation were found, for which the least squares method was used.

The simulation model is presented in the form (5):

$$Y(x_1, x_2, x_3) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k b_{ij} x_i x_j, \quad (5)$$

where  $b_0$  – free term;

$b_i$  – factor with linear terms, reflecting the influence of the  $i$  factor on the response function;

$b_{ij}$  – coefficient of the terms that represent the pairwise linear interactions,

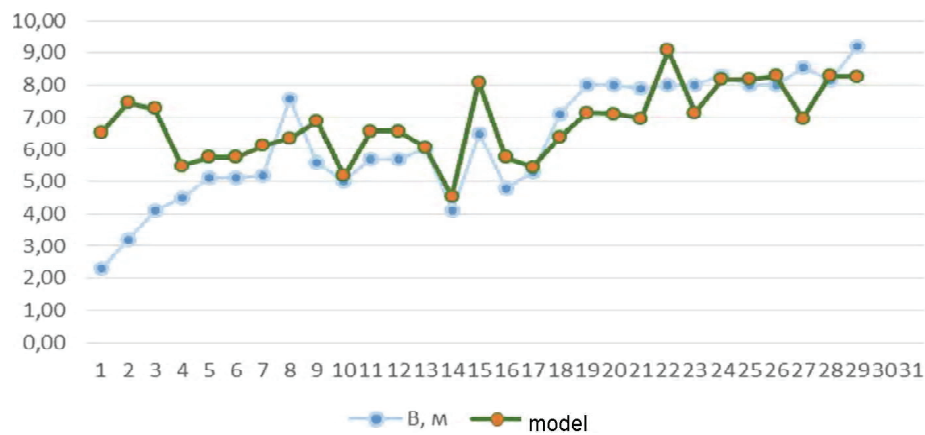
$k$  – the number of input parameters.

The resulting coefficients of the regression equation are presented in table 4.

The importance of regression coefficients was checked. A variance of reproducibility was preliminarily determined (dispersion of the response), = 44,05. The variance of the coefficients of the regression equation (6) was:

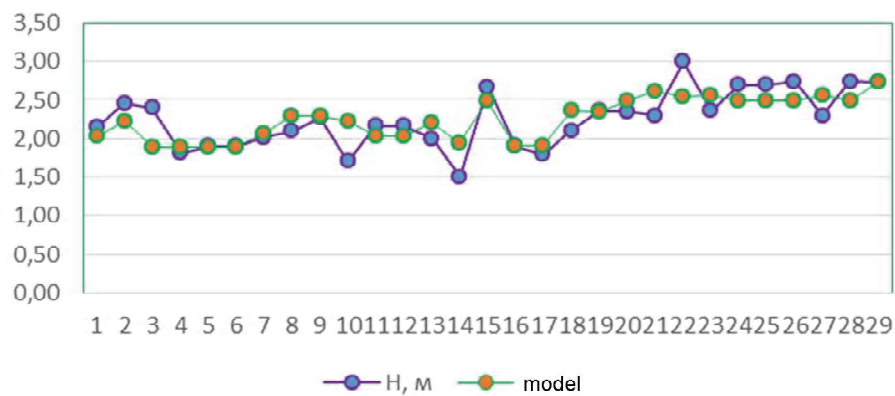
$$S_b^2 = \frac{S_{60cn}^2}{nm} = 2.753153, S_b = \sqrt{S_b^2} = 1.659263, \quad (6)$$

$$B=3.026H$$



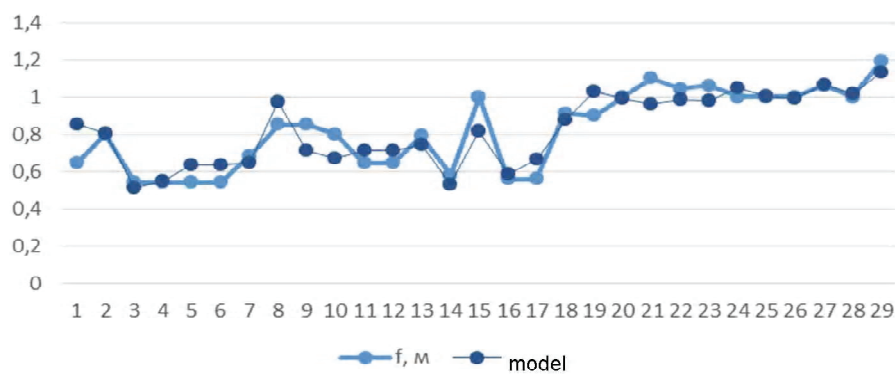
**Figure 4.** Dependence of the width of the chamber ( $B$ ) on the height of the furnace chamber ( $H$ ).

$$H=1.18+1.30f$$



**Figure 5.** Dependence of the width of the chamber ( $B$ ) on the boom lift ( $f$ ).

$$f=-0.66+0.12R+0.01\alpha$$



**Figure 6.** Dependence of the boom of the arch ( $f$ ) from the boom radius ( $R$ ) and the central angle of the arch ( $\alpha$ ).

**Table 1.** Coding of FFA-2k factors

№	Code	The physical meaning of the factor	Interval	Levels of factors		
				–1	0	+1
1	X <sub>1</sub>	Coefficient $k$ , depending on the temperature under the arch	0.75	2.00	2.75	3.50
2	X <sub>2</sub>	Span of the Arch, $B$ , $m$	2	4	6	8
3	X <sub>3</sub>	$f$ – ratio of boom lift to span $B$ , $m$	1/2	1/10	1/8	1/6

**Table 2.** Value of coefficient  $k$  depending on temperature

The temperature under the arch control thermocouple, $T$ , °C	under 900	from 900 to 1 000	from 1 000 to 1 300	from 1 300 to 1 500
Coefficient $k$	2.0	2.5	3.0	3.5

**Table 3.** The matrix for planning the experiment of the FFE with allowance for the interaction of factors

№	Factors (coded values)								State variable (response, R), kN		
									Experiment 1	Experiment 2	Average
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>av</sub>
1	+	+	+	+	+	+	+	+	160.570	142.731	151.651
2	+	–	+	+	–	–	+	–	91.755	81.560	86.658
3	+	–	–	+	+	–	–	+	46.887	41.677	44.282
4	+	+	–	+	–	+	–	–	82.052	72.935	77.494
5	+	+	–	–	–	–	+	+	128.860	123.706	126.283
6	+	+	+	–	+	–	–	–	254.100	243.943	249.025
7	+	–	+	–	–	+	–	+	145.200	139.396	142.300
8	+	–	–	–	+	+	+	–	73.634	70.689	72.161

**Table 4.** Coefficients of regression

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{123}$
118.73	32.38	38.67	–28.71	10.54	–7.83	–9.54	–2.60

where  $n$  – the number of experiments (variants);

$m$  – the number of parallel experiments.

The value of the confidence interval for the regression coefficients was found. According to the Student's distribution table with the significance level  $\alpha = 0.05$ , the theoretical value of the Student's test is equal to  $t_{0.05,8} = 2.31$ , whence  $\Delta b_j = 3.832\ 897$ . From the comparison of the confidence interval  $\Delta b_j$  with the absolute values of the model coeffi-

cients it follows that the coefficient is insignificant and since all the coefficients of the equation were evaluated independently, the elimination of the coefficient  $\Delta b_{123}$  from the equation does not lead to a change in other estimates and their variances; therefore, it can be excluded from the equation, the remaining coefficients are significant. Thus, the final regression equation can be written in the form (7):

$$\begin{aligned}\hat{y}_{mod,y} = & 118.7322 + 32.38152x_1 + \\ & + 38.67675x_2 + 28.7106x_3 + \\ & + 10.54821x_1x_2 + 7.83016x_1x_3 + 9.54353x_2x_3.\end{aligned}\quad (7)$$

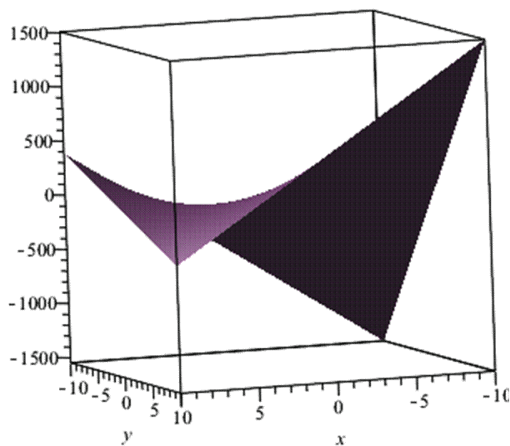
The results of calculating the output parameters from the equation of the obtained model are given in table 5.

The adequacy of the obtained regression equation to the experimental data was verified with the help of the Fisher test, for which the deviation of the output quantity predicted by the regression

**Table 5.** The results of calculating the output parameters from the equation of the obtained model

average	model
$\bar{y}_{cp}$	$Y_{mod}$
151.65170	154.2538
86.65813	84.0548
44.28252	46.8846
77.49441	74.8908
126.28320	128.8862
249.02580	246.4232
142.30040	144.9034
72.16183	69.5592

equation from the results of the experiment at various points was estimated. According to the Fisher distribution table, with a significance level of  $\alpha = 0.01$ , the critical value of the Fisher criterion is found to be  $F_{crit} = 5.32$ . Since  $F_{exp} < F_{crit}$ , the hypothesis of the adequacy of the model obtained is accepted [17–20].



**Figure 7.** The response surface for  $k=0$ .

To record a mathematical model in real physical quantities, a reverse transition from a standardized scale to a natural one is made, thus, the final form of the model (8) is obtained:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{mod,y} = & 118.7322 + 32.38152 \frac{k \cdot 2.75}{0.75} + 38.67675 \frac{B \cdot 6}{2} \times \\ & \times 28.7106 \frac{f \cdot 1/8}{1/2} + 10.54821 \frac{k \cdot 2.75}{0.75} \frac{B \cdot 6}{2} \times \\ & \times 7.83016 \frac{k \cdot 2.75}{0.75} \frac{f \cdot 1/8}{1/2} \times \\ & \times 9.54353 \frac{B \cdot 6}{2} \frac{f \cdot 1/8}{1/2}.\end{aligned}\quad (8)$$

To record a mathematical model in real physical quantities, a reverse transition from a standardized scale to a natural one is performed, thus obtaining the final form of the model (9):

$$\begin{aligned}\hat{y}_{mod,y} = & 7.1575475 + 3.59252k + 1.19289B + \\ & + 57.25998f + 7.03214kB + 20.88kf + 9.54353Bf.\end{aligned}\quad (9)$$

Figures 7–9 show the response surfaces, where  $Y(R)$  is the response function.

The response function will then have the form (10):

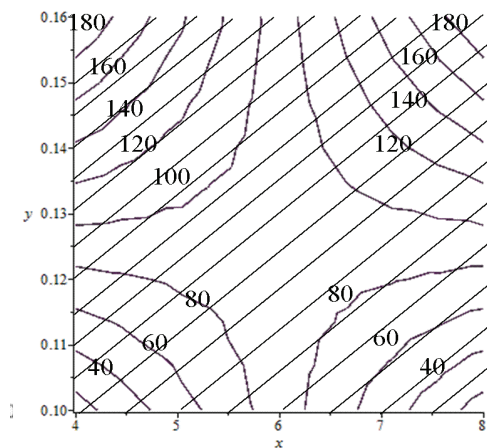
$$\hat{y}(B, f) = 7.16 + 1.19B + 57.26f + 20.88kf. \quad (10)$$

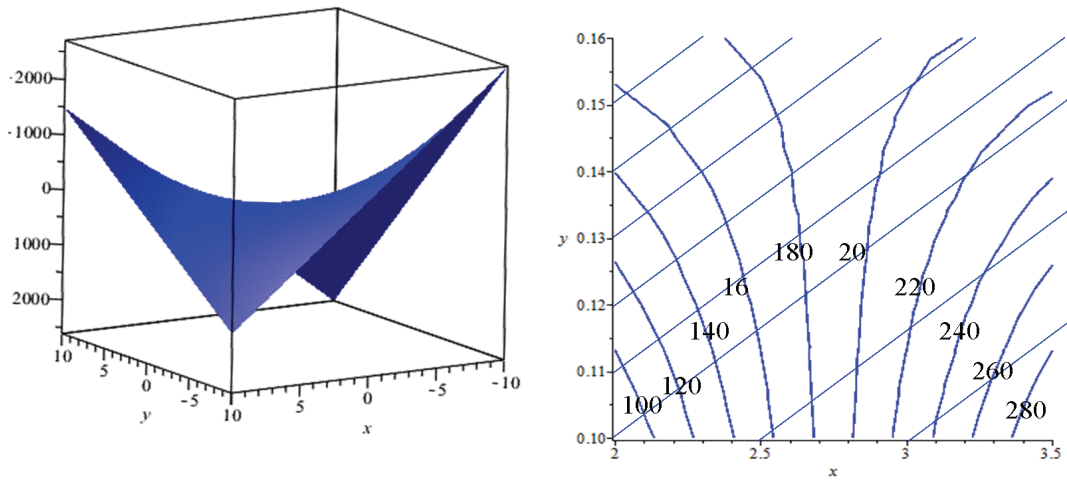
The response function will then have the form (11):

$$\hat{y}(k, f) = 7.16 + 3.59k + 57.26f + 20.88kf. \quad (11)$$

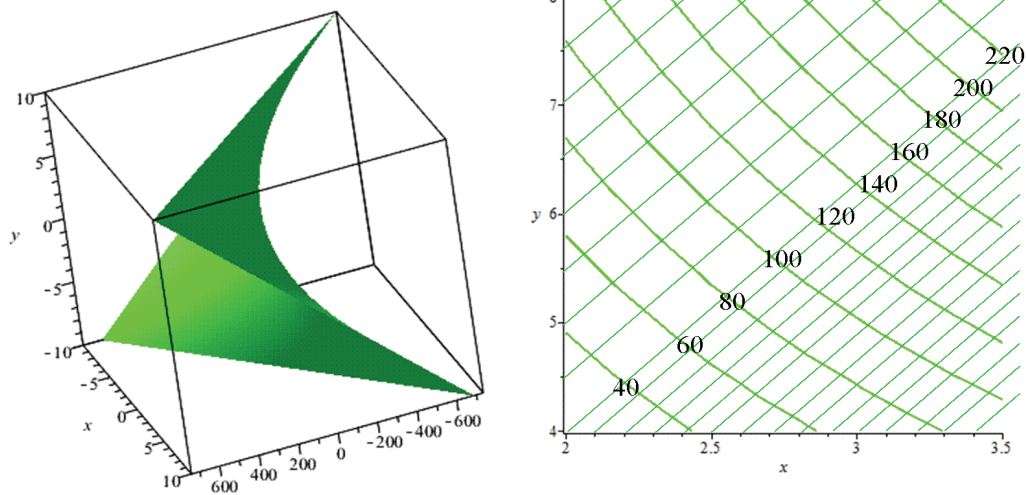
The response function will then have the form (12):

$$\hat{y}(k, B) = 7.16 + 3.59k + 1.19B + 7.03kB. \quad (12)$$





**Figure 8.** The response surface at  $B=0$ .



**Figure 9.** The response surface at  $f=0$ .

## Conclusions

The hypothesis of reproducibility of experiments is checked. She confirmed the fact that there was no need to conduct a repeat experiment. The analysis of the model has shown the significance of not only linear effects but also of paired interactions of factors. Moreover, the span of the arch  $B$  exerts a stronger influence than the coefficient  $k$ , and the

ratio of the boom lift of the arch  $f$  is even less significant, compared to the previous 2 factors. Significant were 2 coefficients from three joint factors. Compatibility of effects was established, with the strongest joint influence of factors ( $X_1$  and  $X_2$ ). It was revealed that the joint influence of the 3 factors on the response function does not influence.



## References

1. Исламов, М. Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей / М. Ш. Исламов. — Л.: Химия, 1986. — 280 с.
2. Левицкий, И. А. Теплотехнические установки и агрегаты предприятий производства стекла. Расчет стекловаренных печей / И. А. Левицкий, Ю. Г. Павлюкевич. — Минск: БГТУ, 2006. — 110 с.
3. Гусовский, В. Л. Методы расчета нагревательных и термических печей: учебно-справочное пособие / В. Л. Гусовский, А. Е. Лифшиц. — М.: Теплотехник, 2004. — 400 с.
4. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах / Ю. И. Розенгард, Б. Б. Потапов, В. М. Ольшанский, А. В. Бородулин. — Киев: Высшая школа, 1986. — 290 с.
5. СТО НОСТРОЙ 2.31.12-2011 Строительство, реконструкция, ремонт. Промышленные печи и тепловые агрегаты. Проведение и контроль выполнения пуско-наладочных работ. — Введ. 2011-12-05. — М.: Изд-во стандартов, 2011. — 41 с.
6. Определение температурных полей на контактирующих поверхностях внешнего контура агрегата стекловаренной печи / А. М. Югов, В. И. Москаленко, А. В. Ихно, Д. А. Юдкало // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2009. — Вип. 6(80) Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. — С. 76–83.
7. Кашеев, И. Д. Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кашеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — [Б. м.]: Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
8. Стрелов, К. К. Структура и свойства огнеупоров / К. К. Стрелов. — 2-е изд. перераб. — М.: Metallurgy, 1982. — 208 с.
9. Дзюзер, В. Я. Огнеупоры для варочной части высокопроизводительной части стекловаренных печей / В. Я. Дзюзер // Огнеупоры и техническая керамика. — 2008. — № 5. — С. 24 — 32.
10. Кайнарский, И. С. Корундовые огнеупоры и керамика / И. С. Кайнарский, Э. В. Дегтерева, И. Г. Орлова. — М.: Metallurgy, 1981. — 168 с.
11. СТО НОСТРОЙ 2.31.5-2011 Строительство, реконструкция, ремонт. Промышленные печи и тепловые агрегаты. — Введ. 2011-10-14. — М.: Изд-во стандартов, 2011. — 181 с.
12. СНиП III-24-75 Строительные нормы и правила. Промышленные печи и кирпичные трубы: нормативно-технический материал. — Введ. 1976-01-07. — М.: Изд-во стандартов, 1975. — 16 с.
13. Ихно, А. В. Определение экспериментальным путем действительного НДС колонны каркаса стекловаренной печи завода ООО «Стройстекло-трейдинг» в г. Константиновка / А. В. Ихно // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2012. — Вип. 6(98) Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. — С. 146–153.

## References

1. Islamov, M. Sh. Design and operation of industrial furnaces / M. Sh. Islamov. — Leningrad: Chemistry, 1986. — 280 p. (in Russian)
2. Levitsky, I. A. Thermo technical installations and units of glass production enterprises. Calculation of glass furnaces / I. A. Levitsky, Yu. G. Pavlyukovich. — Minsk: BSTU, 2006. — 110 p. (in Russian)
3. Gusovsky, V. L. Methods for calculating heating and thermal furnaces: a teaching manual / V. L. Gusovsky, A. E. Lifshitz. — Moscow: Teplotekhnika, 2004. — 400 p. (in Russian)
4. Heat transfer and thermal conditions in industrial furnaces / Yu. I. Rosengard, B. B. Potapov, V. M. Olshansky, A. V. Borodulin. — Kiev: Vishcha school, 1986. — 290 p. (in Russian)
5. SRT NOSTROY 2.31.12-2011 Construction, reconstruction, repair. Industrial furnaces and thermal units. Carrying out and control of the commissioning. — Was approved by CEN on 05 December 2011. — Moscow: Publishing House of Standards, 2011. — 41 p. (in Russian)
6. Determination of temperature fields on the contact surfaces of the external circuit of the unit glass furnace / A. M. Yugov; V. I. Moskalenko; A. V. Ihno; D. A. Yudkalo. In: *Proceeding of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2009. — Issue 6(80) Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction. — P. 76–83. (in Ukrainian)
7. Kashcheev, I. D. Chemical technology of refractoriness / I. D. Kashcheev, K. K. Strelov, P. S. Mamykin. — [S. c.]: Intermet Engineering, 2007. — 752 p. (in Russian)
8. Strelov, K. K. Structure and properties of refractories / K. K. Strelov. — 2-nd ed. Rep. — Moscow: Metallurgy, 1982. — 208 p. (in Russian)
9. Dzyuser, V. Ya. Refractories for the hob of the high-performance part of glass furnaces. In: *Refractories and technical ceramics*. — 2008. — № 5. — PP. 24–32. (in Russian)
10. Kainarsky, I. S. Corundum refractories and ceramics / I. S. Kainarsky, E. V. Degterev, I. G. Orlova. — Moscow: Metallurgy, 1981. — 168 p. (in Russian)
11. SRT NOSTROY 2.31.5-2011 Construction, reconstruction, repair. Industrial furnaces and thermal units. — Was approved by CEN on 14 October 2011. — Moscow: Publishing Standards, 2011. — 181 p. (in Russian)
12. SNiP III-24-75 Building norms and rules: Industrial furnaces and brick pipes: normative and technical material. — Was approved by CEN on 01 July 1976. — Moscow: Publishing Standards, 1975. — 16 p. (in Russian)
13. Ihno, A. V. Determination by experimental way of the valid VAT of the column of the skeleton of the glass-melting furnace of the plant of limited liability company Stroisteklo-trading in Konstantinovka. In: *Proceeding of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. — 2012. — Issue 6 (98)



14. Финни, Д. Введение в теорию планирования экспериментов / Д. Финни. — М. : Наука, 1970. — 288 с.
15. Колибаба, О. Б. Математическая модель оптимизации работы термической печи для нагрева насыпных садов / О. Б. Колибаба, В. В. Бухмиров, М. Г. Сулейманов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета им. В. И. Ленина. — 2014. — Вып. 1. — С. 1–4.
16. Маркова, Е. В. Комбинаторные планы в задачах многофакторного эксперимента / Е. В. Маркова, Л. Н. Лисенков. — М. : Наука, 1979. — 345 с.
17. Нагорский, Д. В. Общая методика расчета печей / Д. В. Нагорский. — М. : Изд-во Академии Наук СССР, 1941. — 312 с.
18. Налимов, В. В. Статические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. — М. : Наука, 1965. — 340 с.
19. Степаненко, М. Г. Пути совершенствования ванн стекловаренных печей / М. Г. Степаненко. — М. : Госстройиздат, 1960. — 160 с.
20. Тимошенко, Г. М. Теория инженерного эксперимента: учебное пособие / Г. М. Тимошенко, П. Ф. Зима. — Донецк : ДПИ, 1984. — 60 с.
- Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction. — P. 146–153. (in Ukrainian)
14. Finney, D. Introduction to the theory of experimental planning / D. Finney. — Moscow : Nauka, 1970. — 288 p. (in Russian)
15. Kolibaba, O. B. A mathematical model for optimizing the operation of a thermal furnace for heating bulk plants. In: *Proceeding of V. I. Lenin Ivanovo State Energy University*. — 2014. — Issue 1. — C. 1–4. (in Russian)
16. Markova, E. V. Combinatorial Plans in Multivariate Experiment Problems / E. V. Markova, L. N. Lisenkov. — Moscow : Nauka, 1979. — 345 p. (in Russian)
17. Nagorsky, D. V. General procedure for calculating ovens / D. V. Nagorskiy. — Moscow : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1941. — 312 p. (in Russian)
18. Nalimov, V. V. Static Methods for Planning Extreme Experiments / V. V. Nalimov, N. A. Chernov. — Moscow : Nauka, 1965. — 340 p. (in Russian)
19. Stepanenko, M. G. Ways to improve bathroom glass melting furnaces / M. G. Stepanenko. — Moscow : Gosstroyizdat, 1960. — 160 p. (in Russian)
20. Timoshenko, G. M. Theory of Engineering Experiment : textbook / G. M. Timoshenko, P. F. Zima. — Donetsk : DPI, 1984. — 60 p. (in Russian)

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция, усиление и демонтаж строительных металлических конструкций, технология и организация работ при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

**Ихно Анна Владимировна** – ассистент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция и усиление строительных металлических конструкций, технология и организация работ при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

**Жмыхова Татьяна Владимировна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики и информатики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: актуарная и финансовая математика, стохастические дифференциальные уравнения и их приложения, принятие решений в условиях неопределенности, модели функционирования страховых компаний с финансовым инвестированием.

**Титков Сергей Олегович** – аспирант кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: возведение и реконструкция промышленных сооружений.

**Югов Анатолій Михайлович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри технології і організації будівництва ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція, посилення та демонтаж будівельних металевих конструкцій, технологія і організація робіт при будівництві і реконструкції будівель і споруд.

**Ихно Ганна Володимирівна** – асистент кафедри технології і організації будівництва ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція та підсилення будівельних металевих конструкцій, технологія та організація робіт при будівництві та реконструкції будівель та споруд.

**Жмихова Тетяна Володимирівна** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики та інформатики ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: актуарна і фінансова математика, стохастичні диференціальні рівняння та їх застосування, прийняття рішень в умовах невизначеності, моделі функціонування страхових компаній з фінансовим інвестуванням.

**Тітков Сергій Олегович** – аспірант кафедри технології і організації будівництва ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: зведення і реконструкція промислових споруд.

**Yugov Anatoliy** – D.Sc. in Engineering Sciences, Professor, Head of Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, assembling, exploitation, technical diagnostics, estimation of technical state, reconstruction, reinforcement and dismantled of building metal constructions, construction engineering and management, white building and reconstruction of buildings and structures.

**Ihno Anna** – assistant, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, installation, operation, technical diagnostics, an estimation of a technical condition, reconstruction and strengthening of building metal designs, technology and the organization of works at construction and reconstruction of buildings and constructions.

**Zhmykhova Tatiana** – Ph. D. (Physics and Mathematics), Associate Professor; Higher Mathematics and Computer Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: actuarial and financial mathematics, stochastic and differential equations and their applications, decision-making under an certainty, the models of insurance companies activity with the financial investment.

**Titkov Sergey** – postgraduate, Construction Engineering and Management Department, Donbas National Academy of Construction and Architecture. Scientific interests: erection and reconstruction of industrial facilities.