

UDC 624.04

## OPTIMIZATION OF CALCULATIONS OF BUILDING STRUCTURES

I. Medved<sup>1</sup>, Yu. Otrosh<sup>2</sup>, N. Rashkevich<sup>2</sup>, A. Kondratiev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*

<sup>2</sup>*National University of Civil Defence of Ukraine*

<sup>3</sup>*O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*

**Abstract.** Building structures are very diverse in their shapes, sizes, loading conditions, etc. Their durability depends on many factors, including how accurately the design scheme reflects the actual conditions of its operation. Because no matter how precise and complex calculation methods are used, if an incorrect calculation scheme is calculated, then the results of such calculations will not reflect the true picture. Therefore, the problem of optimization of design schemes is of great scientific and practical importance. Optimization parameters depend on specific conditions. One of the existing approaches for finding optimal solutions is based on mathematical modeling, when the model is an analytical dependence of the objective function on dependent (controlled) variables, the numerical values and range of which are set based on the actual operating conditions of this structure. The compilation of such models and the performance of appropriate calculations require a deep understanding of the essence of the phenomenon and knowledge of the mathematical apparatus. Of the existing methods, the most common and developed is linear programming, when the model is a linear function and the variables in the constraint system are also linear. The idea of the method is technically implemented in the add-in "Search for a solution" for Microsoft Excel. With its help, you can find the optimal (maximum or minimum) numerical value of the objective function contained in one cell, taking into account restrictions on the values of dependent variables in other cells. Most often, this superstructure is used in solving optimization problems of the economy (simplex method, transport problem, etc.). In the public domain, there are very few results of using this approach in the calculations of building structures at the initial design stage. In the proposed work, an attempt was made to use this add-on in the problem of optimizing the geometric dimensions of a structure, when the numerical value of the bending moment in a particular section was chosen as the optimization criterion. It is appropriate to solve such a problem at the stage of drawing up the design scheme of the structure.

**Keywords:** calculation scheme, line of influence, search for solutions.

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗРАХУНКІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Медвідь І. І.<sup>1</sup>, Отрош Ю. А.<sup>2</sup>, Рашкевич Н. В.<sup>2</sup>, Кондратьєв А. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля*

<sup>2</sup>*Національний університет цивільного захисту України*

<sup>3</sup>*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*

**Анотація.** Будівельні конструкції різноманітні за формою, розмірами, умовами навантаження тощо. Їх довговічність залежить від багатьох факторів, у тому числі від того, наскільки точно проектна схема відображає реальні умови її експлуатації. Якими б точними і складними методами розрахунку не користувалися, якщо буде невірна схема розрахунку, то результати таких розрахунків не відобразатимуть справжньої картини. Тому проблема оптимізації проектних схем має велике наукове та практичне значення. Параметри оптимізації залежать від конкретних умов. Один із існуючих підходів до пошуку оптимальних рішень базується на математичному моделюванні, коли модель являє собою аналітичну залежність цільової функції від залежних (керованих) змінних, числові значення та діапазон яких



задаються виходячи з реальних умов роботи даної структури. Складання таких моделей та виконання відповідних розрахунків вимагають глибокого розуміння сутності явища й знання математичного апарату. Серед існуючих методів найбільш поширеним та розробленим є лінійне програмування, коли модель є лінійною функцією, змінні в системі обмежень теж лінійні. Ідея методу технічно реалізована в надбудові «Пошук рішення» для Microsoft Excel. За його допомогою можна знайти оптимальне (максимальне або мінімальне) числове значення цільової функції, що міститься в одній клітинці, з урахуванням обмежень значень залежних змінних в інших клітинках. Найчастіше ця надбудова використовується під час вирішення задач оптимізації економіки (симплексний метод, транспортна задача тощо). У відкритому доступі недостатньо результатів використання цього підходу для розрахунків будівельних конструкцій на початковому етапі проектування. У запропонованій роботі була зроблена спроба використати цю надбудову для задачі оптимізації геометричних розмірів конструкції, коли критерієм оптимізації було обрано числове значення згинального моменту в конкретному перерізі. Вирішувати таку задачу доцільно на етапі складання розрахункової схеми споруди.

**Ключові слова:** розрахункова схема, лінія впливу, пошук рішень.

## 1 INTRODUCTION

The reliability and durability of building structures depends on many factors: geometric dimensions, materials used, acting external loads and their combinations, etc. In this regard, appropriate calculations are performed at the design stage.

In the field of the theory of calculation of building structures, there is a constant refinement of their actual work, i.e. such design schemes are created that most accurately correspond to the actual operating conditions. Therefore, the solution of the problem of optimization of design schemes is of great scientific and practical importance.

One of the existing approaches to finding optimal solutions is considered in the course "Operations Research" [1]. The goal is a quantitative substantiation of the decisions made, and the effectiveness of the operation is estimated by the numerical value of the objective function.

Among the models used, first of all, a large class of optimization models should be noted. In general terms, the optimization problem can be formulated as follows: to find such values of controlled variables that satisfy the system of inequalities (restrictions) and turn the objective function into a maximum (or minimum).

Of all the known methods of mathematical programming, the most common and developed is linear programming [2, 3]. In addition, non-linear objective functions can be successfully used.

## 2 ANALYSIS OF PUBLICATIONS

Mathematical programming methods and the add-in "Search for a solution" are usually used to solve problems in economics, management, and logistics. In the public domain, there are very few results of using this approach in the calculations of building structures at the initial design stage. [4, 5, 6].

## 3 MATERIALS AND METHODS

This article attempts to show the possibility and expediency of using the methods of mathematical programming and the "Search for Solutions" add-on at the stage of choosing the optimal geometric parameters of design schemes for building structures.

## 4 RESEARCH RESULTS

Based on the results obtained in [6], we will show how to optimize the main geometric parameters of the design scheme.

Let us take, for example, the linear dimensions of the structure  $a$ ,  $b$ ,  $c$  as controlled variables.

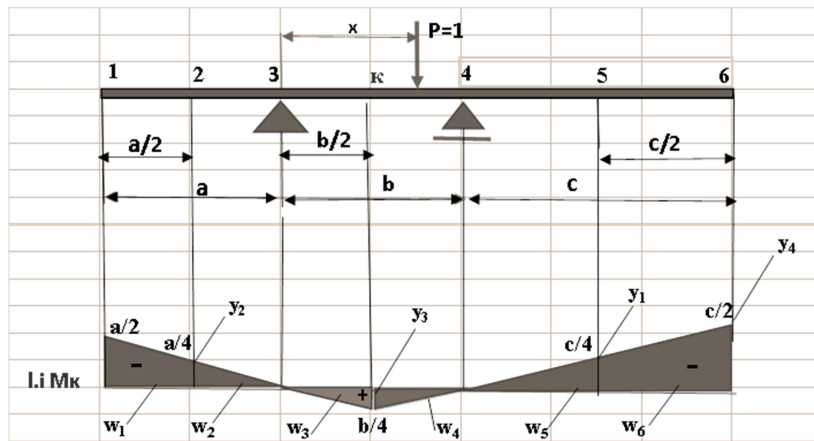


Fig. 1. Calculation scheme and line of influence of the bending moment

Of the proposed loading options (Fig. 2):

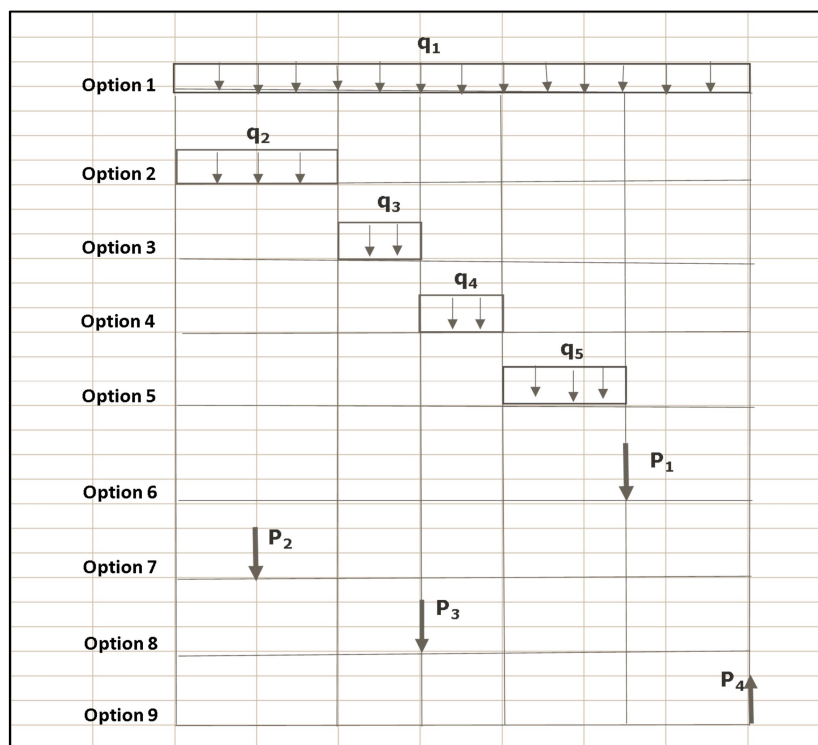


Fig. 2. Structure loading options

choose the one that corresponds to the smallest bending moment in the section "k" [6].

q1	q2	q3	q4	q5	P1	P2	P3	P4
30	20	0	0	30	100	50	150	0

Fig. 3. Numerical values of external load

The loading scheme for this case is shown in Fig.4.

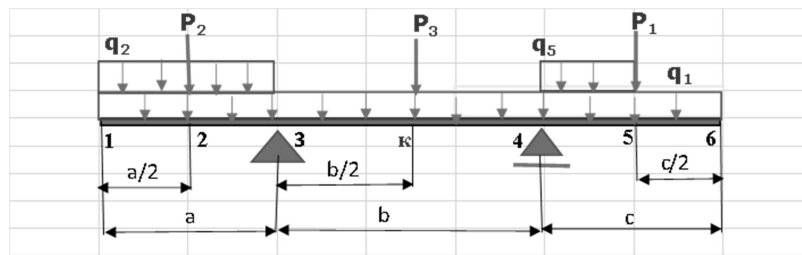


Fig. 4. Calculation scheme of the beam

Now, using the "Search for Solutions", we will determine the numerical values of the parameters  $a$ ,  $b$ ,  $c$  of the design scheme (Fig. 4), at which the bending moment in the section "k" takes on extreme values.

In the course of structural mechanics, a formula is known for determining the numerical value of the generalized internal force factor  $F$  along the corresponding line of influence [7–10]:

$$F = \sum q_i w_i + \sum P_i y_i + \sum M_i \tan \alpha_i \quad (1)$$

Then the target function will look like:

$$M_k = q_1(w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6) + q_2(w_1 + w_2) + q_5 w_5 + P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3. \quad (2)$$

Let us determine the areas of the corresponding sections and the ordinates of the line of influence:

$$w_1 = \frac{\left(\frac{a}{2} + \frac{a}{4}\right)}{2} \cdot \frac{a}{2} = -\frac{3 \cdot a^2}{16}, \quad w_2 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{a}{4} = -\frac{a^2}{16}, \quad w_3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{b}{4} = \frac{b^2}{16},$$

$$w_4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{b}{4} = \frac{b^2}{16}, \quad w_5 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{c}{2} \cdot \frac{c}{4} = -\frac{c^2}{16}, \quad w_6 = \frac{\left(\frac{c}{2} + \frac{c}{4}\right)}{2} \cdot \frac{c}{2} = -\frac{3 \cdot c^2}{16},$$

$$y_1 = -\frac{c}{4}, \quad y_2 = -\frac{a}{4}, \quad y_3 = \frac{b}{4}.$$

In further calculations, we will assume that the bending moment is positive if it stretches the lower fibers.

Now we introduce restrictions on the controlled variables  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Constraints define the conditions that these variables must satisfy. The type of restrictions is determined by the conditions of a particular task and the goal to be achieved. It should be noted that Search for Solutions is very sensitive to restrictions. Let us introduce, for example, the following restrictions:

$$\begin{cases} a + b + c = 7 \\ 2 \leq b \leq 3 \\ a \geq 1 \\ c \leq a. \end{cases}$$

In this case, the table of parameters for finding solutions to find the maximum bending moment will look like (Fig. 5).

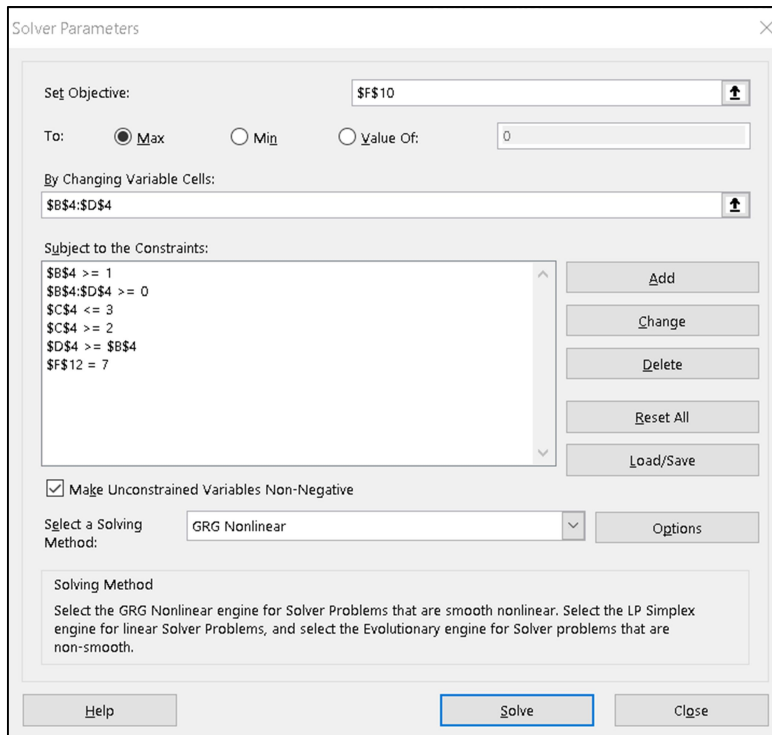


Fig. 4. Solution search options

The calculation results are shown in Fig. 5:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3		a	b	c							
4		2	3	2							
5	q,P	30	20	0	0	30	100	50	150	0	
6	w,y	-0.875	-1	0.5625	0.5625	-0.25	-0.5	-0.5	0.75	1	
7											
8											
9											
10						-16.25					Target function
11						7					a+b+c
12											

Fig. 5. Numerical values of controlled variables and target function

The value of the objective function corresponds to the value of the maximum bending moment in the section "k" ( $M_k = -16.25$  kNm). Since the value is negative, the top fibers of the cross section will be stretched. If the results of the calculation are presented graphically, then we obtain the calculation scheme shown in Fig.6.

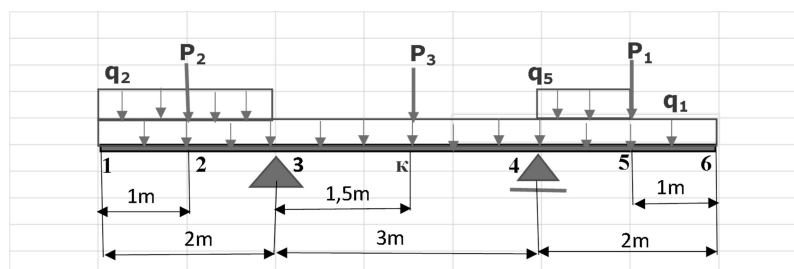


Fig. 6. Calculation scheme corresponding to  $M_{k,max}$

Similarly, the geometric parameters of the design scheme are determined, at which the bending moment in the section "k" will be minimal (Fig. 7).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3		a	b	c								
4	q,P	2.5	2	2.5								
5	w,y	30	20	0	0	30	100	50	150	0		
6		-2.625	-1.5625	0.25	0.25	-0.39063	-0.625	-0.625	0.5	1.25		
7												
8												
9												
10						-140.469					Target function	
11												
12						7					a+b+c	

Fig. 7. Numerical values of controlled variables and target function

If the results of the calculation are presented graphically, then we get the calculation scheme shown in Fig. 8.

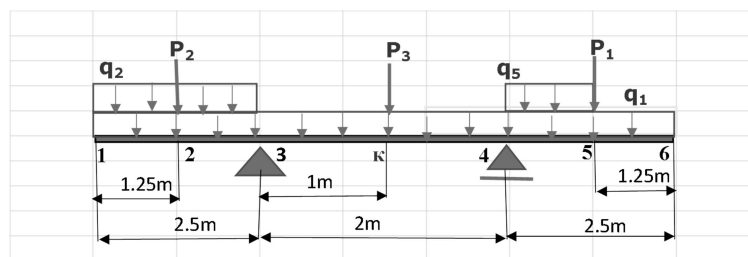


Fig. 8. Calculation scheme corresponding to  $M_{k,min}$

## 5 CONCLUSIONS

Thus, this article shows the possibility and expediency of using the methods of mathematical programming and the "Search for Solutions" add-on at the stage of choosing the optimal geometric parameters of the design schemes of building structures. After the design design scheme of the structure is optimized, other technical means of calculation can be used for its further calculation.

## References

1. Kremer, M. Sh. (1999). *Operations research in economics*. Textbook. M.: Marketing.
2. Karmanov, V. G. (1986). *Matematicheskoye programmirovaniye* [Mathematical programming]. M.: Nauka. [in Russian].
3. Romanyuk, T. P. Tereshchenko, T. O. Prisenko, G. V. Gorodkova, I. M. (1996). *Matematichne programuvannya: Navch. posibnik* [Mathematical programming: Educational manual]. K.: IZMN. [in Ukrainian].
4. Medved, I. I. (2021). Optimizatsiya raschetnykh skhem [Optimization of design schemes]. *Modern building structures made of metal and wood*. 25. 85–91. [in Russian].
5. Medved, I., Surianinov, M., Otrosh, Y., Pirohov O. (2021). Optimization of the calculated scheme. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 1164. 012051.
6. Medved, I., Biloshytskiy, M., Maiboroda, R., Shcholokov, E., Tryhub V. (2022). "Search for solutions" in the problems of calculation of building structures. *Mechanics and mathematical methods*. 4. 2. 75–82.
7. Smirnov, A. F., Aleksandrov, A. V., Laschennikov, B. Ya., Shaposhnikov, N. N. (1981). *Stroitel'naya mekhanika. Sterzhnevyye sistemy* [Structural mechanics. Rod systems]. M.: Stroyizdat. [in Russian].
8. Smirnov, A. F., Aleksandrov, A. V., Laschennikov, B. Ya., Shaposhnikov, N. N. (1984). *Stroitel'naya mekhanika* [Structural mechanics]. M.: Stroyizdat. [in Russian].

9. Darkov, A. V., Shaposhnikov, N. N. (1986). *Stroitel'naya mekhanika* [Structural mechanics]. М.: Higher. shk. [in Russian]
10. Butenko, Yu. I. (1984). *Stroitel'naya mekhanika* [Structural mechanics]. Vishcha school. [in Russian].

## Література

1. Kremer, M. Sh. Operations research in economics. Textbook. М.: Marketing, 1999. 270 p.
2. Карманов В. Г.. Математическое программирование. М: Наука, 1986. 288 с.
3. Романюк Т. П., Терещенко Т. О., Присенко Г. В., Городкова І. М. Математичне програмування: Навч. посібник. К.: ІЗМН, 1996. 312 с.
4. Медведь И. И. Оптимизация расчетных схем. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини, 2021. №25. С. 85–91.
5. Medved, I., Surianinov, M., Otrosh, Y., Pirohov O. (2021). Optimization of the calculated scheme. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1164. 012051.
6. Medved, I., Biloshytskiy, M., Maiboroda, R., Shcholokov, E., Tryhub V. (2022). "Search for solutions" in the problems of calculation of building structures. Mechanics and mathematical methods. 4. 2. 75–82.
7. Смирнов А. Ф., Александров А. В., Лашенников Б. Я., Шапошников Н. Н. Строительная механика. Стержневые системы. М.: Стройиздат, 1981. 512 с.
8. Смирнов А. Ф., Александров А. В., Лашенников Б. Я., Шапошников Н. Н. Строительная механика. М.: Стройиздат, 1984. 415 с.
9. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. М.: Высшая школа, 1986. 607 с.
10. Бутенко Ю. И. Строительная механика. Руководство к практическим занятиям. К.: Вища школа, 1984. 328 с.

### **Medved Ivan**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University  
PhD, Associate Professor  
Central Avenue, 59-a, Severodonetsk, Ukraine, 93400  
iw.medwed@yandex.ua  
ORCID: 0000-0001-9988-9900

### **Yurii Otrosh**

National University of Civil Defence of Ukraine  
DScTech, Professor  
Chernyshevskaya str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023  
yuriyotrosh@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-0698-2888

### **Nina Rashkevic**

National University of Civil Defence of Ukraine  
PhD, Lecturer of the Department  
Chernyshevskaya str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023  
nine291085@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-5124-6068

### **Andrii Kondratiev**

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv  
DScTech, Associate Professor  
Marshal Bazhanov str., 17, Kharkiv, Ukraine, 61002  
andrii.kondratiev@kname.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-8101-1961

### *For references:*

Medved I., Otrosh Yu., Rashkevic N., Kondratiev A. (2023). Optimization of calculations of building structures. Mechanics and Mathematical Methods. V(1). 6–13.

### *Для посилань:*

Медвідь І. І., Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Кондратьєв А. В. Оптимізація розрахунків будівельних конструкцій. Механіка та математичні методи, 2023. Т. V. № 1. С. 6–13.