

UDC 539.3

"SEARCH FOR SOLUTIONS" IN THE PROBLEMS OF CALCULATION OF BUILDING STRUCTURES

I. Medved¹, M. Biloshytskiy¹, R. Maiboroda², E. Shcholokov², V. Tryhub²

¹Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

²National University of Civil Defence of Ukraine

Abstract. Building structures are very diverse in their purpose and application. The reliability and safety of their operation depends on many factors: geometric dimensions, materials used, acting external loads and their combinations, etc. All these parameters determine the internal forces, stresses and strains that arise in structures, which determine their strength, rigidity and stability. In order to ensure the strength, rigidity and stability of buildings and their structural elements, appropriate calculations are performed. In the field of the theory of calculation of building structures, there is a constant refinement of the actual work of these structures, i.e. such design schemes are created that most accurately correspond to the actual operating conditions. The more optimally the design scheme is drawn up, the less time-consuming will be the stages of calculation and design of the corresponding structure. 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 discussed in the course "Operations Research". Operations Research deals with the development and application of methods for finding optimal solutions based on mathematical modeling. The operation model is an analytical dependence of the objective function on dependent (controlled) variables, which, within certain limits, we can choose at our discretion and set the range of their change. Solver is a Microsoft Excel add-in that can be used in Structural Analysis problems. With its help, you can find the optimal value (maximum or minimum) of the formula contained in one cell, called the target, taking into account restrictions on variable values in other cells. Simply put, with the Solver add-in, you can determine the maximum or minimum value of one cell by changing other cells. Most often, the add-on "Search for a solution" is used in solving optimization problems of the economy (simplex method, transport problem, etc. There are practically no results of using this approach in the calculations of building structures.

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

"ПОШУК РІШЕННЯ" В ЗАДАЧАХ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Медвідь І. І.¹, Білошицький М. В.¹, Майборода Р. І.², Щолоков Е. Е.²,
Тригуб В. В.²

¹Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

²Національний університет цивільного захисту України

Анотація. Будівельні конструкції дуже різноманітні за своїм призначенням та застосуванням. Надійність та безпека їхньої роботи залежить від багатьох факторів: геометричних розмірів, використовуваних матеріалів, діючих зовнішніх навантажень та їх поєднань тощо. Всі ці параметри визначають внутрішні зусилля, напруги і деформації, що виникають в конструкціях, що визначають їх міцність, жорсткість і стійкість. Для того щоб забезпечити міцність, жорсткість та стійкість будівель та їх конструктивних елементів, виконуються відповідні розрахунки. У теорії теорії розрахунку будівельних конструкцій йде постійне уточнення дійсної роботи цих конструкцій, тобто. створюються такі розрахункові схеми, які найточніше відповідають реальним умовам експлуатації. Чим оптимальніше складено розрахункову схему, тим менш трудомісткими будуть етапи розрахунку та конструювання відповідної конструкції. Тому, вирішення завдання оптимізації розрахункових

схем має величезне наукове та практичне значення. Один із існуючих підходів пошуку оптимальних рішень розглядається в курсі "Дослідження операцій". "Дослідження операцій" займається розробкою та застосуванням методів пошуку оптимальних рішень на основі математичного моделювання. Модель операції є аналітичною залежністю цільової функції від залежних (керованих) змінних, які у певних межах ми можемо вибирати на власний розсуд і встановлювати діапазон їх зміни. "Пошук рішення" – це надбудова для Microsoft Excel, яку можна використовувати в розрахунках будівельних конструкцій. З її допомогою можна знайти оптимальне значення (максимум або мінімум) формули, що міститься в одному осередку, що називається цільовим, з урахуванням обмежень на змінні значення в інших осередках. Простіше кажучи, за допомогою надбудови "Пошук рішення" можна визначити максимальне або мінімальне значення однієї комірки, змінюючи інші комірки. Найчастіше надбудова "Пошук рішення" використовується під час вирішення оптимізаційних завдань економіки (симплексний метод, транспортне завдання тощо). Практично відсутні результати використання такого підходу при розрахунках будівельних конструкцій.

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

1 INTRODUCTION

Building structures are very diverse in their purpose and application. The reliability and safety of their operation depends on many factors: geometric dimensions, materials used, acting external loads and their combinations, etc. All these parameters determine the internal forces, stresses and strains that arise in structures, which determine their strength, rigidity and stability. In order to ensure the strength, rigidity and stability of buildings and their structural elements, appropriate calculations are performed.

In the field of the theory of calculation of building structures, there is a constant refinement of the actual work of these structures, i.e. such design schemes are created that most accurately correspond to the actual operating conditions. In solving these problems, a huge role belongs to the introduction of an electronic computer.

The discipline "Operations Research" deals with the development and application of methods for finding optimal solutions based on mathematical modeling.

The operation model is an analytical dependence of the objective function on dependent (controlled) variables, which, within certain limits, we can choose at our discretion and set the range of their change. Drawing up an operation model requires a deep understanding of the essence of the described phenomenon and knowledge of the mathematical apparatus.

The goal is to quantitatively substantiate the decisions made [1], and the effectiveness of the operation is quantified by the numerical value of the objective function.

Among the models used in the "Operations Research" it should be noted first of all a large class of optimization models. 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).

If the objective function is linear, and the variables in the constraint system are also linear, then such a problem is a linear programming problem. Of all the known methods of mathematical programming, the most common and developed is linear programming [1–3].

"Search for a solution" is a Microsoft Excel add-in that can be used to solve optimization problems. Simply put, using the Solver add-in, you can determine the maximum or minimum value of one cell by changing other cells.

2 ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND STATEMENT OF THE PROBLEM

Most often, the add-in "Search for a solution" is used in solving optimization problems of the economy (simplex method, transport problem, etc.). There are practically no results of using this approach in the calculations of building structures [4, 5].

3 PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH

In this article, an attempt is made to show the feasibility of using the "Search for Solutions" at the stage of choosing the optimal parameters of the design design scheme.

4 RESULTS OF RESEARCH

Consider the simplest building structure.

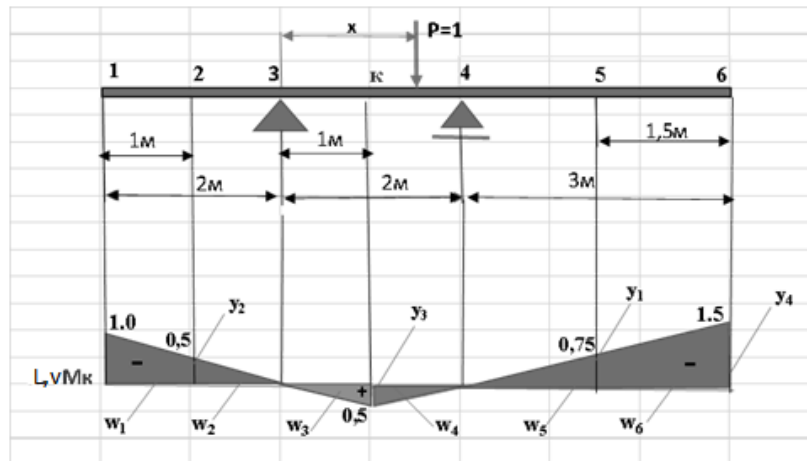


Fig.1. Calculation scheme and the line of influence of the bending moment

To illustrate the idea of the proposed approach, a simple statically determinate beam was deliberately chosen (Fig. 1). This is done so that the idea of the proposed approach is not lost due to the complexity and cumbersomeness of the calculations.

Let us be interested in the section "k" of the structure under consideration. The line of influence of the bending moment in this section was constructed using traditional methods of structural mechanics (Fig. 1) [6–10].

Possible options for loading the structure are shown in Fig. 2 (selected arbitrarily).

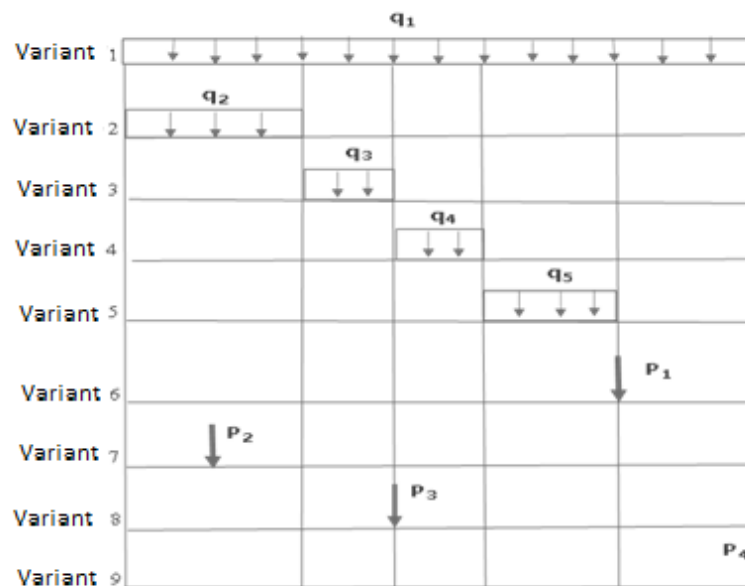


Fig. 2. Loading options for the structure

As an optimality criterion, we choose the value of the bending moment in the section "k".

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:

$$F = \sum q_i w_i + \sum P_i y_i + \sum M_i \tan \alpha_i . \tag{1}$$

In our case, formula (1) will look like:

$$M_k = q_1(w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6) + q_2(w_1 + w_2) + q_3 w_3 + q_4 w_4 + q_5 w_5 + P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 + P_4 y_4 . \tag{2}$$

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

$$w_1 = -\frac{(1+0.5)}{2} \cdot 1 = -0.75; \quad w_2 = -\frac{0.5 \cdot 1}{2} = -0.25; \quad w_3 = \frac{0.5 \cdot 1}{2} = 0.25;$$

$$w_4 = \frac{0.5 \cdot 1}{2} = 0.25; \quad w_5 = -\frac{1.5 \cdot 0.75}{2} = -0.5625; \quad w_6 = -\frac{(0.75+1.5)}{2} \cdot 1.5 = -1.6875;$$

$$y_1 = -0.75; \quad y_2 = -0.5; \quad y_3 = 0.5; \quad y_4 = 1.5.$$

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

Then the objective function will look like:

$$M_k = -2.75q_1 - q_2 + 0.25q_3 + 0.25q_4 - 0.5625q_5 - 0.75P_1 - 0.5P_2 + 0.5P_3 + 1.5P_4.$$

Conventionally, we will consider q_1 and P_3 as a constant load, and the rest of the load as a temporary one.

Table 1

Range of change of the distributed load

q_1 , kH/m		q_2 , kH/m		q_3 , kH/m		q_4 , kH/m		q_5 , kH/m	
max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
30	30	20	0	40	0	40	0	30	0

Table 2

Concentrated Force Range

P_1 , kH		P_2 , kH		P_3 , kH		P_4 , kH	
max	min	max	min	max	min	max	min
100	0	50	0	150	150	80	0

Table 3

Restriction system

q_1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	30
0	q_2	0	0	0	0	0	0	0	≤	20
0	0	q_3	0	0	0	0	0	0	≤	40
0	0	0	q_4	0	0	0	0	0	≤	40
0	0	0	0	q_5	0	0	0	0	≤	30
0	0	0	0	0	P_1	0	0	0	≤	100
0	0	0	0	0	0	P_2	0	0	≤	50
0	0	0	0	0	0	0	P_3	0	=	150
0	0	0	0	0	0	0	0	P_4	≤	80

The ranges of changes in the external load and the selected system of restrictions are entered in the table of parameters for the search for solutions (Fig. 3).

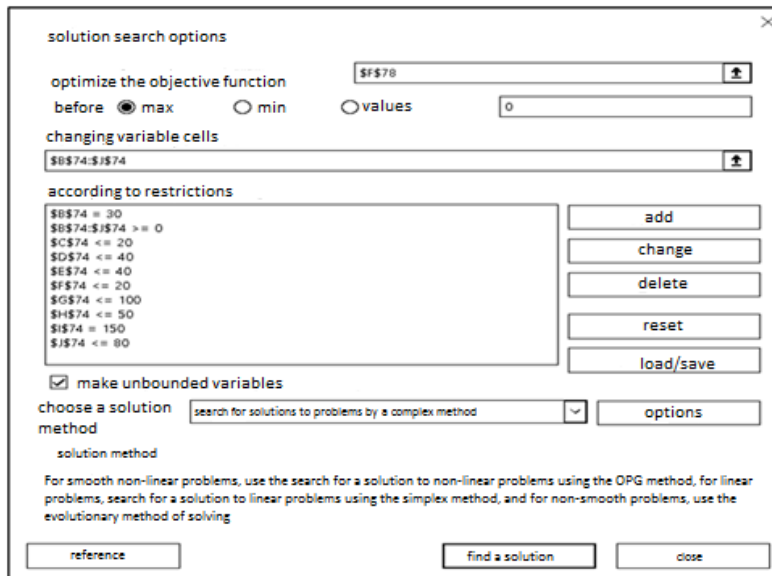


Fig. 3. Solution search parameters for finding M_k , max

5 DISCUSSION OF RESEARCH RESULTS

The calculation results are shown in Fig. 4.

q1	q2	q3	q4	q5	P1	P2	P3	P4
30	0	40	40	0	0	0	150	80
-2.75	-1	0.25	0.25	-0.5625	-0.75	-0.5	0.5	1.5

132.5 objective function

Fig. 4. Numerical values of controlled variables and objective function

The value of the objective function corresponds to the value of the maximum bending moment in the section "k" ($M_k=132.5$ kNm). Since the value is positive, the lower 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. 5.

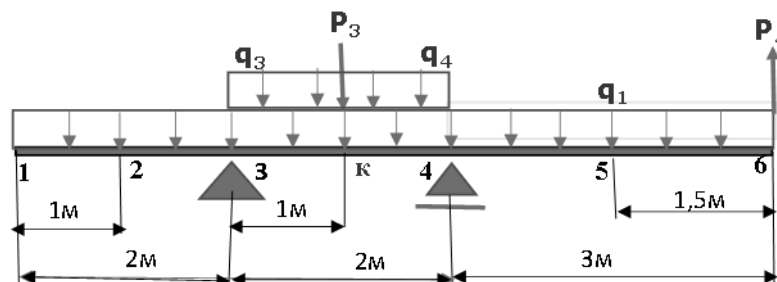


Fig. 5. External load combinations corresponding to M_k , max

Similarly, the combination of external load is determined, at which the bending moment in the section "k" will be minimal (Fig. 6).

q1	q2	q3	q4	q5	P1	P2	P3	P4
30	20	0	0	30	100	50	150	0
-2.75	-1	0.25	0.25	-0.5625	-0.75	-0.5	0.5	1.5

-144.375 objective function

Fig. 6. Numerical values of controlled variables and objective function

The value of the objective function corresponds to the value of the minimum bending moment in the section "k" ($M_k = -144.375$ kNm). Since the value is now 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. 7.

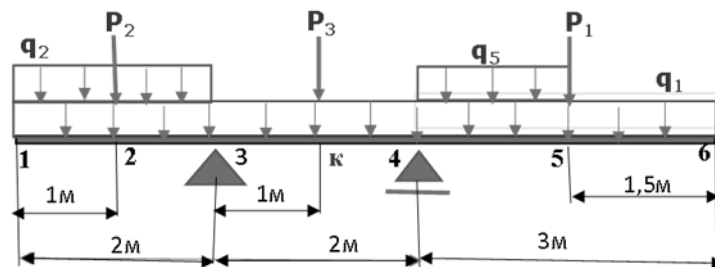


Fig. 7. External load combinations corresponding to M_k , min

6 CONCLUSIONS

Thus, this article shows the possibility and expediency of using the "Search for Solutions" add-on at the stage of choosing the optimal parameters of the design design scheme. After the calculation scheme is determined, more powerful conventional means of calculating building structures can be involved for its complete 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. 2021. 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. Butenko, Yu. I. (1989). *Stroitel'naya mekhanika* [Structural mechanics]. Vishcha school. [in Russian].
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]. M.: Higher. shk. [in Russian].

10. Butenko, Yu. I. (1984). *Stroitel'naya mekhanika. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam* [Structural mechanics. Practice Guide]. K.: Vishcha shkola. [in Russian].

Література

1. Kremer M. Sh. *Operations research in economics. Textbook*. M.: Marketing, 1999. 270 p.
2. Карманов В.Г. *Математическое программирование*. М.: Наука, 1986. 285 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. Бутенко Ю. И. *Строительная механика*. Высшая школа, 1989. 479 с.
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
Candidate of technical sciences, assistant professor
Central Avenue, 59-a, Severodonetsk, Ukraine 93400
iw.medwed@yandex.ua, ORCID: 0000-0001-9988-9900

Biloshytskiy Mykola

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
Candidate of technical sciences, assistant professor,
Central Avenue, 59-a, Severodonetsk, Ukraine 93400
beloshytskiy@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9935-4161

Maiboroda Roman

National University of Civil Defence of Ukraine
Lecturer of Department
Chernishevskaya str., 94, Kharkov, Ukraine, 61023
maiboroda.roman@ukr.net
0000-0002-3461-2959

Eduard Shcholokov

National University of Civil Defence of Ukraine
Lecturer of Department
Chernishevskaya str., 94, Kharkov, Ukraine, 61023
eduard.shcholokov2020@gmail.com
0000-0002-9923-1487

Volodymyr Tryhub

National University of Civil Defence of Ukraine
Senior Lecturer of Department, Ph.D. (Technical Sciences), Associate Professor
Chernishevskaya str., 94, Kharkov, Ukraine, 61023
vlad.trigub.1978@gmail.com
0000-0002-5370-1340

For references:

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.

Для посилань:

Медвідь І. І., Білошицький М. В., Майборода Р. І., Щолоков Е. Е., Тригуб В. В. "Пошук рішення" в задачах розрахунку будівельних конструкцій. *Механіка та математичні методи*, 2022. Т. 4. №. 2. С. 75–82.