

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТА ДІАГНОСТИКА РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ**

УДК 519.85

**КОМП'ЮТЕРНА ГЕНЕРАЦІЯ ВАРІАНТІВ РОЗРІЗУВАННЯ ДОВГОМІРНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ НА ВІДРІЗКИ ПОТРІБНИХ ТИПОРОЗМІРІВ**

Є. Матвіїшин, д. е. н.

Львівський регіональний інститут державного управління

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.053>

Постановка проблеми. Будівництво об'єктів з використанням збірних і монолітних залізо-бетонних та металевих каркасних конструктивних схем домінує в сучасному будівельному виробництві. Зокрема монолітне будівництво набуло поширення в Україні у зв'язку з великими масштабами спорудження багатопверхового житла. Більшість металу використовують у вигляді стрижнів для арматурних каркасів для армування фундаментів, плит перекриття, колон, діафрагм жорсткості тощо. Для виготовлення арматурних каркасів, призначених для одного об'єкта, застосовують обмежені типорозміри стрижнів (за класом сталі, діаметром і довжиною). Тому доцільно заздалегідь розрахувати оптимальні варіанти розкрою арматурних прутів на серії відрізків тих типорозмірів, які будуть потрібні для виготовлення арматурних каркасів, чи то на будмайданчиках, чи в арматурних цехах. Крім того, такого типу задачі доцільно розв'язувати і для отримання варіантів розрізування прокату з конструктивних сталей. Завдяки їх використанню архітектори та інженери можуть втілити цікаві ідеї, які складно реалізувати за допомогою інших матеріалів. Загалом приблизно 45% усієї сталі у світі використовують у будівництві [1]. Наведені аспекти підтверджують актуальність розробки і застосування методів визначення оптимальних варіантів розрізування довгомірних елементів на відрізки потрібних типорозмірів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оптимізацію розкрою арматурних прутів вивчало чимало дослідників. Здебільшого досліджували масове виробництво типових залізобетонних збірних конструкцій, наприклад, плит перекриття, колон тощо. Російська дослідниця О.В.Тихонова зі студентами розглядала задачу оптимального розкрою арматури для плит перекриття певного розміру. Вони запропонували брати до уваги систему обмежень, зумовлених потрібною кількістю стрижнів певної довжини, а також цільову функцію, яка описує загальну довжину стрижнів, що потрапляють у відходи за кожним з варіантів розкрою [2]. Для розв'язку задачі дослідники пропонували використовувати пакет MathCad або

інструмент «Пошук рішення» табличного процесора Excel. Недоліком такого підходу є те, що із зростанням кількості типорозмірів стрижнів стрімко зростає кількість варіантів розкрою. Особливо велика кількість варіантів з'являється, якщо довжини потрібних відрізків невеликі – тоді більшість їх «вписується» у різних комбінаціях у задану довжину початкового довгомірного елемента. Опис усіх варіантів вручну займає дуже багато часу. Задачі такого типу можна розв'язувати за допомогою цілочислового математичного програмування. Відповідні приклади описані у посібнику С.І.Наконечного та С.С.Савіної [3]. Зазначені підходи вимагають відповідних знань щодо формулювання початкових даних і умов (обмежень) для використання моделей лінійного програмування або інших спеціальних методів математичного моделювання. Застосування таких моделей зазвичай зумовлює отримання одного варіанта розв'язку, хоча оптимальних варіантів насправді може бути декілька.

Сучасні комп'ютери дають змогу перебрати чимало варіантів розрізування, серед яких може виявитися декілька оптимальних, тобто таких, які виключають відходи взагалі або допускають мінімальну їх кількість. Тому доцільно використати саме такий підхід – розгляд усіх варіантів з вибором декількох оптимальних або близьких до них.

Постановка завдання. Завдання нашого дослідження – запропонувати двоетапний підхід до вибору можливих варіантів розрізування довгомірних елементів на відрізки заданих розмірів: перший етап полягає в генеруванні гіпотетичних варіантів і відборі найкращих із них за критерієм відсутності або мінімуму відходів; другий – у формуванні такого поєднання варіантів розрізування, яке б відповідало виробничим потребам у типорозмірах стрижнів і мінімальній кількості використаного матеріалу.

Виклад основного матеріалу. Для практичного застосування запропонованого нами підходу важливо, щоб формування початкових даних було зручним для користувача. Найдо-

ступнішим програмним забезпеченням для числових розрахунків є табличний процесор Excel. Він дає змогу поєднати зручне введення даних у табличній формі та реалізацію алгоритму завдяки використанню програмного засобу VBA – Visual Basic for Applications [4]. Програмний модуль записують у формі макроса.

Власне алгоритм розроблено за принципом роботи «генератора», який охоплює послідовний аналіз усіх комбінацій значень чинників-аргументів. У задачі про розрізування довгомірних елементів на відрізки заданих типорозмірів такими аргументами є кількість типорозмірів, довжини відрізків, довжина елемента, з якого їх будуть нарізати, товщина шва, якщо передбачено, що розрізування відбувається не рубанням, а із застосуванням різального інструмента. Послідовність розробки алгоритму передбачає такі етапи: розробка модуля для роботи генератора всіх можливих комбінацій аргументів; блок для автоматичного визначення кількості отриманих відрізків певних типорозмірів за кожним із можливих варіантів розрізування; блок розрахунку загальної кількості всіх можливих комбінацій варіантів розрізування стрижнів; блок реалізації перебору комбінацій і фіксації проміжних та остаточних оптимальних або близьких до них комбінацій. Зрозуміло, що алгоритм можна застосовувати лише окремо для певного елемента, який має переріз потрібного типу (отримані стрижні будуть відрізнутися лише довжинами). Тобто для кожного класу сталі та діаметра стрижнів треба розв'язувати окрему задачу.

Модуль для роботи генератора всіх можливих комбінацій аргументів розроблено так, що змінними є номери варіантів розрізування довгомірного елемента на відрізки N -типорозмірів. Якщо для кожної i -ї змінної відомо крок зміни її значень d_i , початкове S_i та крайнє F_i значення, то можна вважати, що відомі можливі альтернативи для всіх N -проміжних рішень. У разі розрізування довгомірного елемента крок d_i буде дорівнювати 1, що означає перехід до наступного варіанта. Оптимальне комплексне рішення є рядом з N чисел, комбінація яких забезпечує найкращий результат цільової функції Z , що означає найповніше використання ресурсу. Значення Z розраховують як суму довжин усіх відрізків, які ввійшли до поточного варіанта розрізування. При цьому встановлено обмеження, що ця сума не повинна перевищувати довжини довгомірного елемента, який розрізується. Формула розрахунку Z має такий вигляд:

$$Z = \sum (L_i \times x_i), \quad (1)$$

де x_1, \dots, x_N – кількості стрижнів відповідних типорозмірів у поточному варіанті розрізування; L_1, \dots, L_N – довжини стрижнів відповідних типорозмірів.

Максимальну кількість стрижнів такого типорозміру для i -го проміжного рішення розраховуємо за формулою (3):

$$p_i = \frac{F_i - S_i}{d_i} + 1. \quad (2)$$

Кількість можливих комбінацій розраховують, перемноживши максимальні кількості значень усіх проміжних рішень:

$$Q = p_1 \cdot p_2 \cdot \mathbf{K} \cdot p_i \cdot \mathbf{K} \cdot p_N. \quad (3)$$

В алгоритмі проміжні рішення щодо включення конкретних типорозмірів стрижнів у поточний варіант розрізування можуть набувати значень від S_i до F_i . Зокрема $S_i = 0$ означає, що жоден відрізок заданого (i -го) типорозміру не включається у варіант розрізування, а F_i означає максимальну кількість відрізків заданого (i -го) типорозміру, які можуть бути зараховані у варіант розрізування: розраховують як ціле число відділення довжини довгомірного елемента на довжину відрізка цього типорозміру. Значення Q використовують як кількість теоретично можливих варіантів розрізування, серед яких алгоритм вибирає найкращі з погляду найменших відходів.

Наприклад, якщо для виготовлення арматурних каркасів потрібні стрижні однакових діаметрів та класів сталей з довжинами (у мм) 480, 600, 750, 1000, 1200, 1500, 2400 і 3000, то описаний алгоритм згенерує 59 безвідходних варіантів розрізування довгомірних прутів завдовжки 6000 мм. Наступним етапом є вибір з-поміж цих варіантів таких поєднань, які забезпечать отримання необхідної кількості стрижнів кожного типорозміру. Тому поєднання підбирають за даними про потрібну кількість відрізків певного класу сталі й діаметра стрижнів або профілю прокату відповідно до специфікацій у проектній документації. Для реалізації другого етапу доцільно скористатися інструментом «Пошук рішення» табличного процесора Excel [5]. Початкові дані для цього згруповано в таблицю, де вказано потрібну кількість стрижнів одних діаметра і класу сталі (табл. 1).

У результаті використання інструменту «Пошук рішення» табличного процесора Excel із 59 попередньо згенерованих варіантів отримано 30, які в поєднанні забезпечують використання мінімальної кількості шестиметрових елементів, з яких може бути нарізано необхідну кількість стрижнів. Результат наведено в табл. 2.

Отримане поєднання варіантів розрізування шестиметрових елементів забезпечує задоволення виробничих потреб. Надлишок становить: три стрижні довжиною 1200 мм та по одному довжиною 1000, 2400 і 3000 мм, або лише 0,1% від загального обсягу отриманих арматурних стрижнів.

Таблиця 1

Виробнича потреба в арматурних стрижнях

Довжина стрижнів, мм	480	600	750	1000	1200	1500	2400	3000
Кількість, шт.	3200	1500	800	200	200	100	100	50

Таблиця 2

**Результат використання інструменту «Пошук рішення»
для отримання оптимального поєднання варіантів розрізування**

Кількість елементів	Довжина стрижнів, мм							
	480	600	750	1000	1200	1500	2400	3000
97	10	2	0	0	0	0	0	0
35	5	6	0	0	0	0	0	0
25	0	10	0	0	0	0	0	0
40	5	1	4	0	0	0	0	0
21	0	5	4	0	0	0	0	0
28	0	0	8	0	0	0	0	0
10	5	1	0	3	0	0	0	0
11	0	5	0	3	0	0	0	0
16	0	0	4	3	0	0	0	0
9	0	0	0	6	0	0	0	0
52	10	0	0	0	1	0	0	0
21	5	4	0	0	1	0	0	0
2	0	8	0	0	1	0	0	0
11	0	3	4	0	1	0	0	0
11	5	2	0	0	2	0	0	0
1	0	1	0	3	2	0	0	0
27	5	0	0	0	3	0	0	0
1	0	4	0	0	3	0	0	0
2	0	2	0	0	4	0	0	0
68	5	1	2	0	0	1	0	0
15	0	5	2	0	0	1	0	0
6	0	0	6	0	0	1	0	0
10	0	0	2	3	0	1	0	0
82	5	2	0	0	0	0	1	0
18	0	6	0	0	0	0	1	0
1	0	1	2	0	0	1	1	0
48	5	1	0	0	0	0	0	1
1	0	5	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	3	0	0	0	1
1	0	3	0	0	1	0	0	1
Кількість	3200	1500	800	201	203	100	101	51

Результатом розробки описаних блоків є два файли. Один із них містить розроблені нами макрос і аркуш Excel, на якому визначено діапазон клітинок для введення початкових даних та результатів генерування варіантів розрізування довгомірних елементів заданої довжини. Другий файл містить опис виробничих потреб у стрижнях заданих довжин і дає змогу з допомогою інструменту «Пошук рішення» отримати поєднання варіантів розрізування, за якого буде використано мінімальну кількість елементів. Описаний підхід можна використовувати також для випадку, якщо розрізування відбувається не рубанням, а різанням (найчастіше саме в такий спосіб розрізають

металевий прокат). У такому разі в розрахунок закладають товщину різального інструмента.

Висновки. Запропонований підхід дає змогу планувати витрату дорогого ресурсу – металу – під час розрізування довгомірних елементів на коротші арматурні стрижні або відрізки прокату для металевих каркасів. Перевага підходу – автоматизоване генерування варіантів розрізування довгомірних металевих елементів та вибір таких їх поєднань, які забезпечують мінімальні обсяги відходів. Для його застосування використовують доступне програмне забезпечення – табличний процесор Excel з макросом, який реалізує відповідний алгоритм.

Бібліографічний список

1. За рахунок чого Україна може швидко покращити стан економіки. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/publications/za-rahunok-chogo-ukrajina-mozhe-shvidko-pokrashchiti-stan-ekonomiki-1268180.html>.
2. Тихонова О. В., Плаксин А. В., Зорина К. И. Решение задачи оптимального раскроя арматурных

стрижней при производстве плит перекрытия. *Системные технологии*. 2016. № 19. С. 59-63.

3. Наконечний С. І., Савіна С. С. Математичне програмування: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2003. 452 с.

4. Excel VBA reference. URL: <https://msdn.microsoft.com/en-us/VBA/VBA-Excel>.

5. Excel Solver Online Help. URL: <https://www.solver.com/excel-solver-online-help>.

Матвійшин Є.

КОМП'ЮТЕРНА ГЕНЕРАЦІЯ ВАРІАНТІВ РОЗРІЗУВАННЯ ДОВГОМІРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ВІДРІЗКИ ПОТРІБНИХ ТИПОРОЗМІРІВ

Розглянуто проблему підвищення раціональності витрачання металу в будівництві, який використовують переважно у вигляді стрижнів для армування. Доцільно заздалегідь розрахувати оптимальні варіанти розкрою арматурних прутів на серії відрізків тих типорозмірів, які будуть потрібні для виготовлення арматурних каркасів.

Оптимізацію розкрою арматурних прутів вивчало чимало дослідників. Здебільшого досліджували масове виробництво типових залізобетонних збірних конструкцій, наприклад, плит перекриття, колон тощо. Сучасні комп'ютери дають змогу перебрати чимало варіантів розрізування, серед яких може виявитися декілька таких, які виключають відходи взагалі або допускають мінімальну їх кількість.

Завдання дослідження – запропонувати двоетапний підхід до вибору можливих варіантів розрізування довгомірних елементів на відрізки заданих розмірів: перший етап полягає в генеруванні варіантів розрізування і відборі найкращих із них за критерієм мінімуму відходів; другий – у формуванні такого поєднання варіантів розрізування, яке б відповідало виробничим потребам.

Розроблено алгоритм, який виконує послідовний аналіз усіх комбінацій значень чинників-аргументів. Такими аргументами є кількість типорозмірів, довжини відрізків, довжина елемента, з якого їх будуть нарізати. Алгоритм застосовується окремо для стрижнів однакового класу сталі та діаметра. Наступним етапом є вибір із цих варіантів такого поєднання, яке забезпечить отримання потрібної кількості відповідно до проектною документації. Для його реалізації запропоновано скористатися інструментом «Пошук рішення» табличного процесора Excel. У результаті його застосування з попередніх варіантів розрізування може бути отримано таке їх поєднання, яке забезпечить використання мінімальної кількості довгомірних стрижнів, з яких нарізають не меншу, ніж потрібно, кількість стрижнів заданих довжин.

Ключові слова: арматурні стрижні, металевий прокат, мінімізація відходів, комп'ютерний алгоритм.

Matviyishyn Ye.

COMPUTER GENERATION OF VARIANTS OF CUTTING OF LONG ITEMS INTO PIECES OF DESIRED SIZES

The common task in the construction industry is to cut long items into short pieces, for example reinforcing rods. The bulk of the metal in the construction is used for reinforcement. It is advisable to pre-calculate the optimal variants of the cutting of metal bars in series of rods of those sizes that will be required for the manufacture of reinforcing frames.

The problem of optimizing the cutting of reinforcing rods was considered by many researchers. In general, they concerned the mass production of typical reinforced prefabricated structures, for example, slabs, columns, and the like. Modern computers allow you to overcome a huge number of cutting options, among which there may be a few that exclude wastes at all or give a minimal amount of them. Therefore, it is expedient to use this approach – consideration of all options with a choice of several optimal or close to them.

The purpose of our study is to propose a two-stage approach to choosing possible variants of cutting long-length elements into pieces of a given size: the first stage consists in generating variants and selecting the best ones according to the minimum waste criterion; the second – in the formation of such a combination of cutting options that would meet the production needs.

Actually, the algorithm is developed based on the principle of "generator", which includes a sequential analysis of all combinations of values of some arguments. Such arguments are the number and the lengths of the pieces, the length of the element from which they will be cut. The algorithm is applied separately for rods of the same class of steel and diameter. The next stage is to select from these variants such combination that will ensure that the required amount of rods in accordance with the design documentation. For the implementation of the second stage, it is advisable to use the SOLVER Tool in Excel spreadsheet. The combination provides the use of a minimum number of bars, of which can be cut the rods required.

Key words: reinforcement rods, metal rolling, minimizing waste, computer algorithm.

Стаття надійшла 02.03.2018.