

Оптимальный раскрой металлического проката в контексте двухмерного проектирования стержневых конструкций

А.А. Ляпин¹, С.Г. Глушко¹, Ю.Ю. Шатилов¹, А.В. Черпаков^{1,2}

¹Донской государственной технической университет

²Южный федеральный университет

Аннотация: Реализована задача разработки программного модуля, осуществляющего формирование карты оптимального раскроя металлического проката на основе результатов расчетов стержневых конструкций. Рассматриваемый алгоритм учитывает такие особенности задачи оптимизации раскроя, как учет ширины лезвия, возможность использования половины размера проката, поддержка оптимизации нескольких сечений, сварка деталей в случае превышения длины заготовки. Программный модуль разработан с использованием языков JavaScript и C#. Возможность автоматической генерации карт раскроя на основе результатов оптимизации стержневых конструкций повышает эффективность проектирования строительных конструкций.

Ключевые слова: проектирование в строительстве, стержневая конструкция, вычислительная система, web-разработка, оптимальный раскрой, металлический прокат, карта раскроя.

В современном динамичном мире, где эффективное управление ресурсами высоко ценится, задача оптимального раскроя металлического проката становится ключевой в области промышленного производства. На фоне увеличивающихся требований к эффективности и конкурентоспособности предприятий, обеспечение эффективного использования материалов приобретает стратегическое значение. Проблема раскроя становится особенно актуальной, поскольку от нее зависит не только снижение затрат на материалы, но и уменьшение отходов производства.

В этом контексте разработка программного модуля, способного эффективно решать задачу оптимального раскроя металлического проката на основе результатов расчетов стержневых конструкций, выходит за рамки простого технологического решения. Это становится инструментом для предприятий, стремящихся к оптимизации производственных процессов и максимизации выгоды от использования материальных ресурсов.

Проблема оптимального раскроя стержней является частью более широкой области исследования в области оптимизации и логистики, в научной литературе представлен большой объем исследований на данную тематику. Существующие научные работы рассматривают проблемы раскроя одно-, двух- [1, 2] и трехмерных материалов [3]; раскроя текстильных материалов, бумаги [4], древесины, камня. Также учитываются различные ограничения на геометрические параметры деталей и заготовок [5].

Задача оптимального раскроя может быть сформулирована как задача линейного программирования [6] или комбинаторной оптимизации. Для её решения применяются различные методы, включая динамическое программирование, жадные алгоритмы и метаэвристические подходы [7].

В рамках данного исследования рассматривается разработка модуля, являющегося компонентом программного комплекса для расчета и оптимизации стержневых конструкций в двухмерной постановке, в связи с этим, рассматриваются следующие особенности задачи оптимизации раскроя металлического проката:

- 1) Учет ширины лезвия.
 - 2) Возможность использования половины размера заготовки, таким образом, оставшаяся половина не считается отходом производства.
 - 3) Поддержка одновременного независимого раскроя заготовок с различными поперечными сечениями в соответствии с результатами оптимизации [8].
 - 4) Учет возможности сварки стержней в случае, если размеры одной или нескольких деталей превышают размеры заготовки.
 - 5) Автоматический сбор необходимых размеров элементов для составления карты раскроя и однозначное сопоставление деталей на карте элементам расчетной схемы конструкции.
 - 6) Формирование текстового отчета.
-

С учетом перечисленных особенностей задачи предложен алгоритм работы программного модуля, представленный на рис. 1.

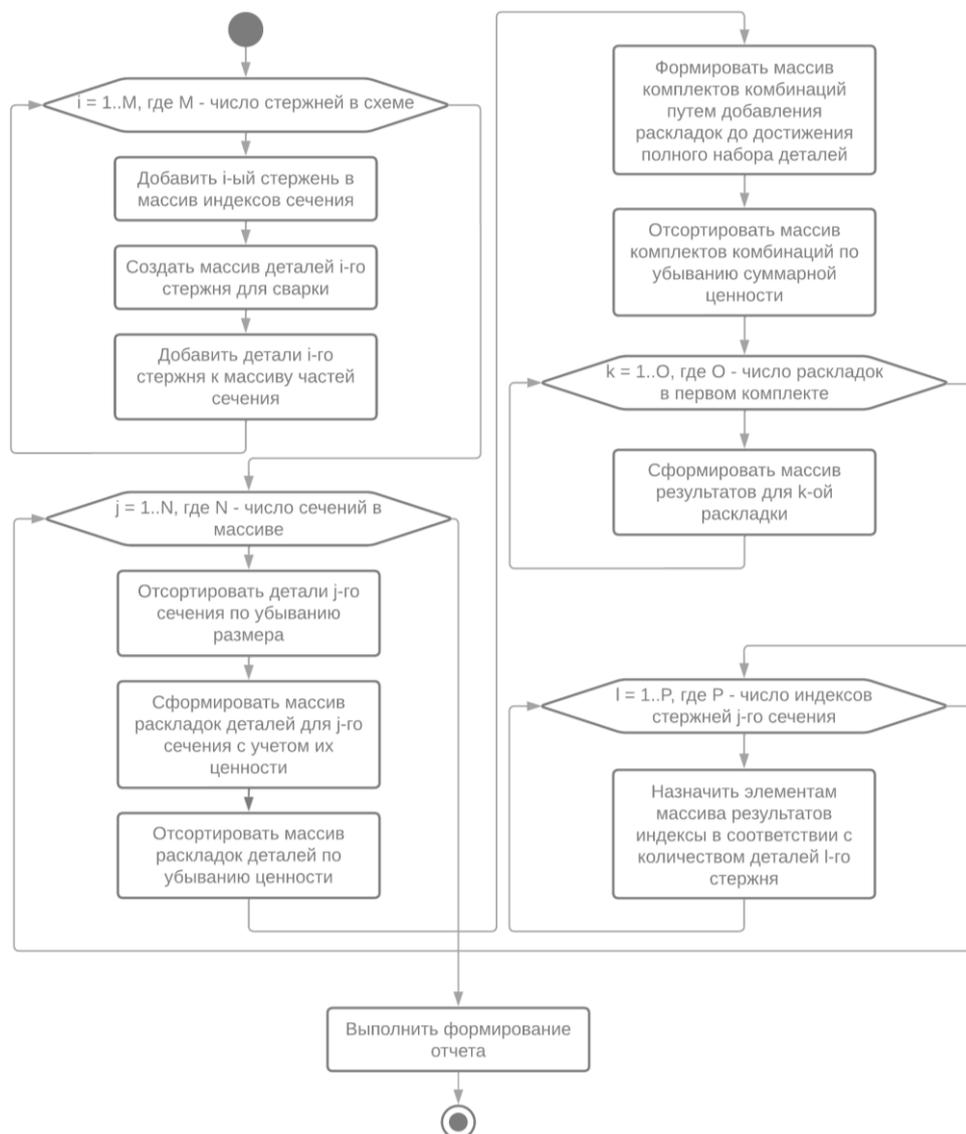


Рис. 1. – Блок-схема алгоритма формирования карты раскроя

Ценность раскладки в рамках данного алгоритма вычисляется как сумма квадратов длин деталей в раскладке. Данный подход позволяет получить точный результат оптимизации раскроя путем достижения необходимого количества деталей в наборе с использованием наиболее эффективных раскладок, не прибегая к непосредственному сравнению остатков.

Для использования половины размера заготовки без появления отхода, при разрезе заготовки посередине ширина лезвия не учитывается.

Реализация интерфейса программного модуля выполнена с использованием языка JavaScript, а алгоритма генерации карты раскроя – на платформе .NET (язык C#). Для формирования текстовых отчетов используется подключаемая библиотека Spire.Doc [9].

Примеры сгенерированных карт раскроя для стержневых схем и соответствующих им текстовых отчетов представлены на рис. 2, 3, а также в табл. 1, 2. Схемы стержневых систем заданы с помощью разработанного модуля параметрической генерации плоских ферменных конструкций [10].

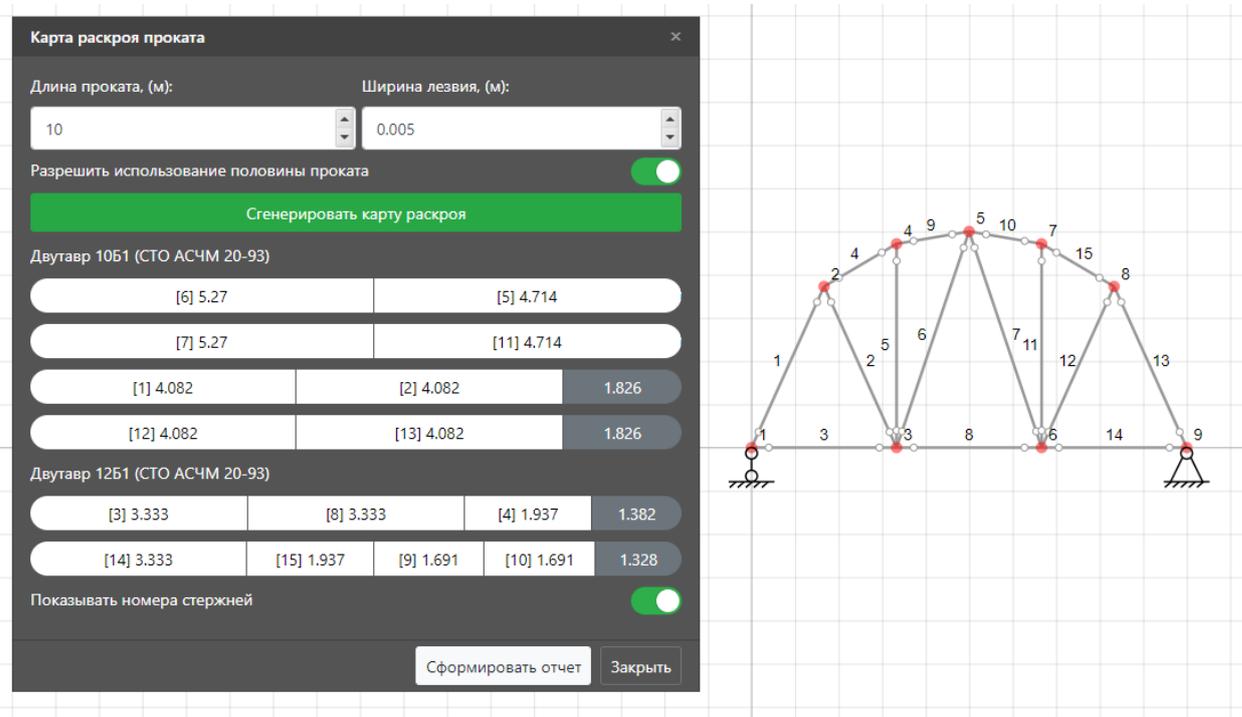


Рис. 2. – Карта раскроя и схема первой конструкции

Таблица № 1

Отчет по карте раскроя первой конструкции

Сечение	№ проката	Части, м
Двутавр 10Б1 (СТО АСЧМ 20-93)	1	Стержень 6 – 5.27
		Стержень 5 – 4.714
		Остаток – 0.006
	2	Стержень 7 – 5.27
		Стержень 11 – 4.714
	3	Стержень 1 – 4.082



Сечение	№ проката	Части, м
	4	Стержень 2 – 4.082
		Остаток – 1.826
		Стержень 12 – 4.082
		Стержень 13 – 4.082
	Остаток – 1.826	
	Длина сечения Остаток сечения	40 3.664
Двугавр 12Б1 (СТО АСЧМ 20-93)	1	Стержень 3 – 3.333
		Стержень 8 – 3.333
		Стержень 4 – 1.937
		Остаток – 1.382
	2	Стержень 14 – 3.333
		Стержень 15 – 1.937
		Стержень 9 – 1.691
		Стержень 10 – 1.691
		Остаток – 1.328
	Длина сечения Остаток сечения	20 2.71
Длина проката: 10 м		
Ширина лезвия: 0.005 м		
Расчет выполнен с учетом возможности использования половины проката		
Общая длина: 60 м		
Общий остаток: 6.374 м		
Время расчета: 0.011 с		

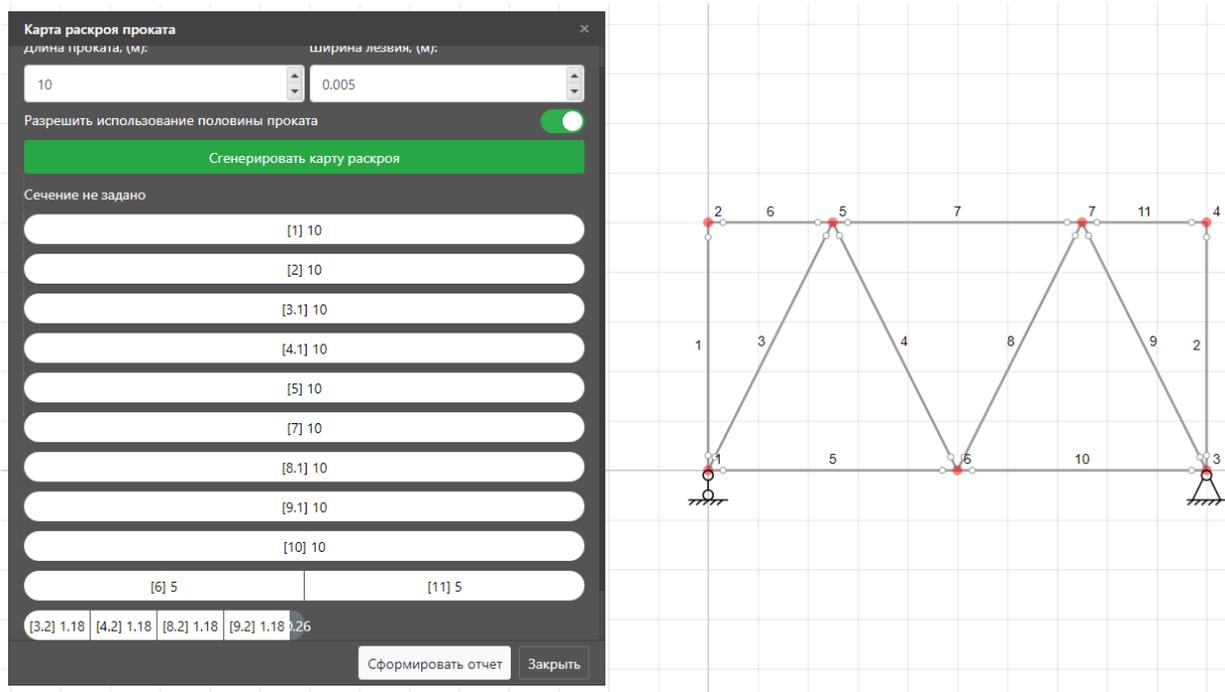


Рис. 3. – Карта раскроя и схема второй конструкции

Таблица № 2

Отчет по карте раскроя первой конструкции

Сечение	№ проката	Части, м	
Сечение не задано	1	Стержень 1 – 10	
	2	Стержень 2 – 10	
	3	Стержень 3.1 – 10	
	4	Стержень 4.1 – 10	
	5	Стержень 5 – 10	
	6	Стержень 7 – 10	
	7	Стержень 8.1 – 10	
	8	Стержень 9.1 – 10	
	9	Стержень 10 – 10	
	10		Стержень 6 – 5
			Стержень 11 – 5
11		Стержень 3.2 – 1.18	
		Стержень 4.2 – 1.18	
		Стержень 8.2 – 1.18	
		Стержень 9.2 – 1.18	
		Остаток – 0.26	
		Половина проката (не учитывается) – 5	
Длина сечения		105	



Сечение	№ проката	Части, м
	Остаток сечения	0.26
Длина проката: 10 м		
Ширина лезвия: 0.005 м		
Расчет выполнен с учетом возможности использования половины проката		
Общая длина: 105 м		
Общий остаток: 0.26 м		
Время расчета: 0.002 с		

Данный программный продукт предоставляет проектировщикам и инженерам возможность оптимального использования металлического проката при создании структурных элементов. Он учитывает различные параметры, такие, как размеры деталей, структурные требования и особенности выпуска продукции, обеспечивая оптимальные решения для производства строительных элементов.

Внедрение такого программного решения не только повышает эффективность проектирования и строительства за счет автоматизации составления сметной документации, но и улучшает общую эффективность процессов на строительном предприятии. Оптимальный раскрой металлического проката становится ключевым фактором, содействующим сокращению издержек и повышению качества в области создания современных и эффективных зданий и сооружений.

Литература

1. Мурзакаев Р.Т., Шилов В.С., Буркова А.В. Основные методы решения задачи фигурной нерегулярной укладки плоских деталей // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2043/.

2. Козырь О.Ф., Кривонос В.А. Математическая модель оптимального раскроя с возможностью изменения размеров и поворота прямоугольных заготовок // Инженерный вестник Дона, 2022, №9. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n9y2022/7890/.



3. Ягудин Р.Р. Оптимизация компоновки трехмерных геометрических объектов на основе годографа вектор-функции плотного размещения // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/921/.

4. Урбан А.Р. Решение задачи поиска оптимального столбца в условиях оптимального раскроя бумажного полотна // Вестник СПбГУ. 2015. № 1. С. 100-106.

5. Nascimento D.N., Cherri A.C., Oliveira J.F, Oliveira V.B. The two-dimensional cutting stock problem with usable leftovers and uncertainty in demand // Computers & Industrial Engineering. 2023. Vol. 186. 109705.

6. Урбан А.Р. Методы решения задачи линейного программирования с дополнительными ограничениями на переменные определенного типа // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 2. С. 322–328.

7. Santoso B., Haerudin H. Genetic Algorithm Approach for Cutting Stock Problems in Construction Industries // International Journal of Integrative Sciences. 2023. Vol. 2. No. 7. pp. 957-970.

8. Глушко С.Г., Шатилов Ю.Ю. Параметрическая оптимизация железобетонных и металлических сечений стержневых конструкций при расчете на прочность //: Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и техники 2021». Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. С. 322-323.

9. Глушко С.Г., Шатилов Ю.Ю. Разработка программного модуля для формирования чертежей и отчетов по результатам проверки прочности металлических конструкций в двумерной постановке // Инженерный вестник Дона, 2021, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2021/6906/.

10. Glushko S.G., Lyapin A.A., Shatilov Yu. Yu., Cherpakov A.V., Haldkar R.K. Software Module Development for the Parametric Generation of Truss



Structure Geometry in a Two-Dimensional Setting // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2021. Vol. 21. No. 4. pp. 376-383.

References

1. Murzakaev R.T., Shilov V.S., Burkova A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2043/.
2. Kozyr' O.F., Krivonosov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, №9. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n9y2022/7890/.
3. Yagudin R.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/921/.
4. Urban A.R. Vestnik SPbGU. 2015. № 1. pp. 100-106.
5. Nascimento D.N., Cherri A.C., Oliveira J.F, Oliveira B.B. Computers & Industrial Engineering. 2023. Vol. 186. p. 109705.
6. Urban A.R. Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki [Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics]. 2015. Vol. 15. № 2. pp. 322–328.
7. Santoso B., Haerudin H. Genetic. International Journal of Integrative Sciences. 2023. Vol. 2. No. 7. pp. 957-970.
8. Glushko S.G., Shatilov Yu. Yu. Vserossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Aktual'nye problemy nauki i tehniki 2021» [All-Russian Scientific and Practical Conference “Current Problems of Science and Technology 2021”]. Rostov-on-Don: DonSTU, 2021. pp. 322-323.
9. Glushko S.G., Shatilov Yu. Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2021/6906/.
10. Glushko S.G., Lyapin A.A., Shatilov Yu. Yu, Cherpakov A.V., Haldkar R.K. Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2021. Vol. 21. No. 4. pp. 376-383.

Дата поступления: 26.12.2023

Дата публикации: 30.01.2024