

УДК 691.714

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАЛИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

А.С. Павлов, Д.И. Сафончик

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

e-mail: vard200@yandex.ru

В статье рассмотрены возможности снижения объемов металлопроката, применяемого при изготовлении металлических конструкций. Отмечена важность этой проблемы, так как с одной стороны металл является одним из наиболее часто применяемых конструкционных материалов, а с другой – стоимость металла, которая постоянно растет, определяет целесообразность его применения в строительстве. На примере показано, что существуют элементарные возможности сокращения объемов закупаемого металлопроката при рациональном подходе к формированию заказа. Доказано, что добиться положительного результата возможно даже за счёт предварительной детальной проработки расположения металлических деталей на заготовках и учитывая в практике проектирования металлопроката то, насколько распространенные профили закладываются в проект. Такие мероприятия позволяют снизить объем отходов металлопроката.

Ключевые слова: *металлопрокат, металлоконструкция, отход, стоимость.*

ON THE QUESTION OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF STEEL IN THE MANUFACTURE OF BUILDING METAL STRUCTURES

A. Pavlov, D. Safonchik

Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

e-mail: vard200@yandex.ru

The article considers the possibility of reducing the volume of rolled metal used in the manufacture of metal structures. The importance of this problem is noted, since, on the one hand, metal is one of the most commonly used structural materials, and on the other hand, the cost of metal, which is constantly growing, determines the feasibility of its use in construction. The example shows that there are elementary opportunities to reduce the volume of purchased metal products with a rational approach to ordering. It has been proven that it is possible to achieve a positive result even through a preliminary detailed study of the location of metal parts on blanks and taking into account in the practice of designing rolled metal how common profiles are included in the project. Such measures allow reducing the volume of metal-roll waste.

Keywords: *rolled metal products, metal structures, waste, cost.*

Введение. В мировом строительстве железобетон и сталь – два наиболее часто встречающихся конструкционных материала. Стальные конструкции, в отличие от железобетонных, имеют меньший вес, и хорошо работают на растяжение.

Основная часть. При появлении необходимости в использовании в строительстве большепролетных конструкций потребность в стали значительно увеличилась, что привело к тому, что она стала одним из самых востребованных материалов на рынке [1].

Стоимость металла на протяжении последних лет очень сильно варьируется (рис. 1). На основании данных белорусской универсальной товарной биржи по сравнению с 2020 годом

стоимость черных металлов изменилась более чем в 2 раза [2]. Следовательно, увеличилась и стоимость всех металлоконструкций. Удорожание стальных конструкций не привело к снижению темпов их использования в практике строительства, а увеличение стоимости металла сделало ещё актуальнее проблему эффективности применения стали в строительстве.

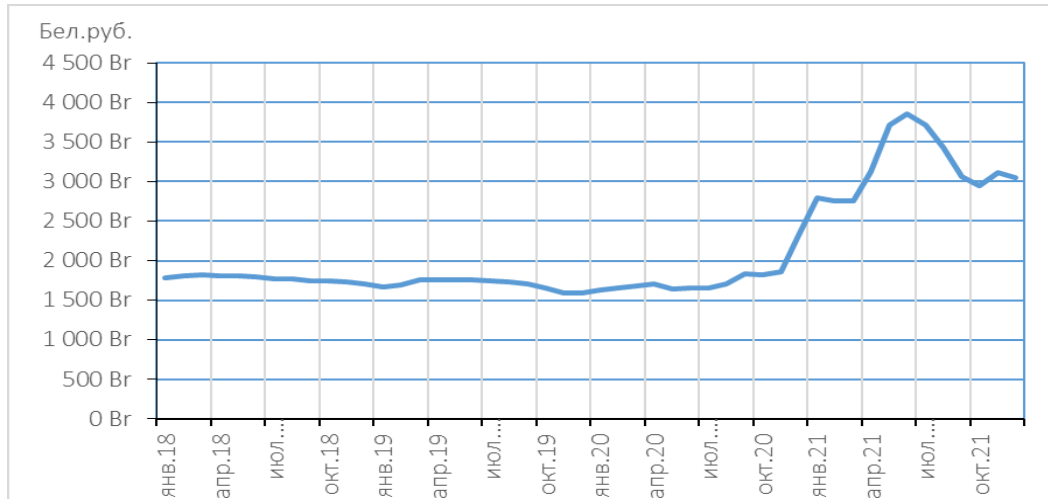


Рисунок 1. – Диаграмма изменения стоимости металлопроката (без учета НДС) за период с 2018 по 2021 гг., бел. руб./1 т

Эффективность использования стали можно оценить по различным критериям. Один из общепринятых – это количество остатков металла, образующихся после изготовления конструкций. Чем меньше вес этих остатков, тем эффективнее использована сталь в конструкции. Условно назовём эти остатки отходами, так как при определенных подходах к решению вопросов по их утилизации они могут оказаться ценным материалом. В основном в процессе изготовления металлоконструкции отходы образуются после раскроя стандартных металлических заготовок. Уменьшение объёма этих отходов приводит к снижению стоимости металлоконструкций.

Рассмотрим актуальность проблемы снижения объёмов стальных отходов на примере реального завода, который занимается изготовлением металлоконструкций. Ориентировочно мощность такого завода составляет 700 т стальных конструкций в год. Объём отходов по такому предприятию находится в пределах 5-10 % и зависит в первую очередь от вида выпускаемых изделий, габаритных размеров заготовок и добросовестности работников. За 5 лет работы этого завода объём отходов может составить 175-350т. Это число сопоставимо с объёмом металлоконструкций, необходимых для изготовления ангара общей площадью 5000 м².

Заводы в своей деятельности используют различные виды металлопроката. Проанализировав по данному заводу 95% всех изготовленных металлоконструкций за 2015-2021 гг. определено следующее:

- общий объём изготовленных металлоконструкций – 4900т (700 т/год);
- виды металлоконструкций: колонны, стойки, надколонники, фермы, пролетные строения, балки, связи, прогоны, фахверк, лестницы, стрелянки, площадки, ограждения и др.;
- основной используемый металлопрокат (рис.2): двутавр – 30,1%; швеллер –14,2%; прокат листовой –23,2%; уголок –20,1%; профильная труба –8,4%; прочий металлопрокат –4%.

Из представленной выше информации следует, что наибольший объём металлопроката приходится на двутавр и листовую сталь. Опыт показывает, что использование при изготовлении металлоконструкций двутавров практически не приводит к образованию отходов, поэтому основное внимание в этой статье уделим листовому профилю.



Рисунок 2. - Диаграмма используемого на заводе металлопроката

При использовании листового металлопроката образуется самое большое количество отходов. Это обусловлено тем, что практически все детали изготавливаемой конструкции имеют сложную конфигурацию. Кроме того, многие элементы будущей конструкции по проекту должны иметь различные вырезы и отверстия. Прямоугольная форма также не гарантирует использование листа на все 100%, т.к. размеры деталей практически всегда не кратны размерам заготовки. Значит и в этом случае какое-то количество отходов все равно останется.

Доля листового проката в общем объеме металлоконструкций по рассматриваемому заводу – 23,2% (или 1137т). Рассмотрим влияние способа раскладки деталей на листах стандартной заготовки на полноту использования этих заготовок.

В соответствии с традиционным подходом к изготовлению металлоконструкций необходимо сначала закупить материалы, а далее уже на листовой заготовке расчерчиваются контуры будущей детали. Это, как правило, приводит не к максимальному использованию такой заготовки. Предлагается сначала произвести, используя различные компьютерные программы, максимально плотную раскладку и уже после этого заниматься закупкой металлопроката. Основные положительные и отрицательные моменты в таких подходах представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Достоинства и недостатки стандартного и предлагаемого методов использования листового проката в изготовлении металлоконструкций

Этап	Метод	
	Стандартный	Предлагаемый
1. Расчет объёма металла, подлежащего закупке	По спецификациям раздела КМ без учета оптимальной раскладки деталей на листовых заготовках. Достоинства: меньше времени тратится на подсчет. Недостатки: возможна закупка в объеме, больше требуемого.	По чертежам раздела КМД с учётом оптимального расположения деталей на листовых заготовках. Достоинства: закупается материал в требуемом объеме. Недостатки: до закупки материалов необходимо завершить разработку чертежей КМД
2. Закупка материалов	Закупка листовых заготовок с запасом	Закупка листовых заготовок в требуемом объеме
3. Изготовление металлоконструкций	Детали конструкции на листовом прокате размещаются без использования самой оптимальной схемы компоновки Достоинства: нет Недостатки: увеличение объёма отхода	Детали конструкции на листовом прокате размещаются с использованием самой оптимальной схемы их компоновки Достоинства: скорость раскладки, уменьшение объёма отходов Недостатки: нет

Для понимания информации, представленной в таблице 1, рассмотрим конкретный пример. Требуется изготовить разные металлоконструкции общим весом 20,4т. Для этих кон-

струкций из листового материала согласно проекту будут вырезаны детали самых различных форм толщинами 6, 8 и 10 мм. Общий вес этих деталей – 4,08т (20% от всего объема металлоконструкций). В продаже имеется листовой прокат следующих габаритов: 1,5х6м и 2х6м. Для наглядности определим объем отходов листовой стали при использовании двух подходов:

– раскладка деталей на листовой стали для изготовления конструкций одного заказа в 4 этапа (т.е. сразу нарезают пластины для $\frac{1}{4}$ заказа и изготавливают конструкции, потом еще $\frac{1}{4}$ и так далее) – этот метод назовём стандартным;

– раскладка всех сразу деталей для изготовления конструкций одного заказа – этот метод назовём предлагаемым.

Используя листовую сталь стандартных размеров (каждый из листов имел толщину 6, 8 и 10 мм; ширину 1,5 и 2 м; длиной 6 м), произвели раскладку деталей на этих листах и по описанным ранее методам, определили объем отходов металла от каждого из листов и результаты занесли в таблицу 2.

Таблица 2. – Объем остатков листового проката, образующихся при разных подходах к изготовлению деталей

Толщина листа, мм	Объем отходов листового проката, %			
	стандартный метод		предлагаемый метод	
	при ширине листа, м			
	1,5	2	1,5	2
6	21,5	19,1	20,2	16,9
8	17,0	17,1	13,2	14,0
10	18,1	19,6	15,4	14,7

По таблице видно, что при размещении пластин стандартным методом, средняя величина остатков после раскроя листа составляет 18,1%. По второму способу – 14,9%, что меньше на 3,2%. Можно отметить ещё и то, что чем больше разнообразие видов и форм деталей, тем больше будет эта разница.

Суть метода сводится к тому, что чем больше выбор деталей, тем больше возможность разместить необходимую деталь в местах, которые при другой раскладке было бы невозможно заполнить. На рисунке 3 представлены 2 варианта размещения трех одинаковых по площади и массе деталей. В первом случае наиболее проблемной является деталь №3, поэтому остаток от листа получился небольшой площади ($0,041\text{м}^2$). А во втором случае деталь №4 имеет более оптимальную форму для размещения и остаток листа составил $0,058\text{м}^2$. Оставшиеся части далее могут быть использованы в дальнейшем, тогда как часть между деталями уже вряд ли может быть использована.

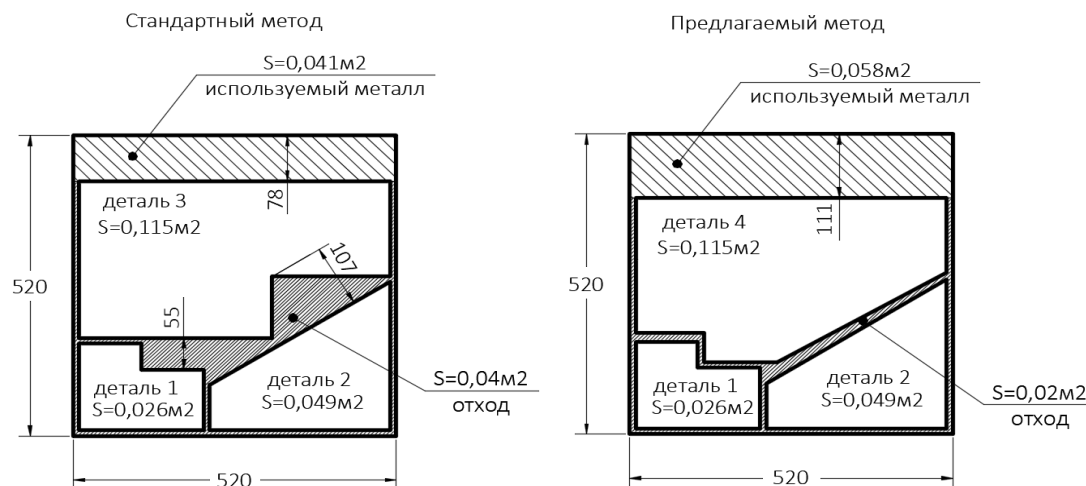


Рисунок 3. - Раскладка деталей стандартным и предлагаемым методом

Удельный вес стоимости материалов в стоимости металлоконструкций составляет порядка 60% [2], а значит, что по состоянию на декабрь 2021 при средней цене металлопроката 3050 бел. рублей (без НДС) за 1тн [1], стоимость 1 тонны металлоконструкций составит 6100 бел. рублей (с НДС).

Пример, приведённый в данной статье, показывает, что возможно при предложенном подходе экономить 3-4% на листовом прокате, который в свою очередь составляет порядка 20-25% от всего металлопроката завода, и до 1% от стоимости металлоконструкций, то есть можно на 25-40 бел. рублей снизить стоимость 1 тонны металлоконструкции.

Проблема минимизации объёмов отходов не единственная на рассматриваемом заводе. Следующая проблема, которая может отразиться на общей стоимости металлических конструкций, заключается в том, что некоторые виды металлопроката применяются периодически. Если остаётся значительный объём такого проката от изготовления конструкций, которые очень редко изготавливает этот завод, то эти остатки будут просто лежать на складе и ждать того момента, когда они понадобятся. Общий объём такого металлопроката в нашем примере – 17,4% (853 т).

Более наглядно эта проблема может быть описана следующим образом. При изготовлении 4 колонн требуется в качестве опорной пластины использовать лист толщиной 50 мм из стали марки С345-3. Такой прокат на рассматриваемом заводе не использовали уже на протяжении последних семи лет. Для реализации задачи необходимо купить лист металла размерами 1,5х6м и использовать только его четвертую часть. Остаток (¾ листа) будет дожидаться следующего заказа, который может в ближайшее время и не наступить. То есть, металл закуплен в гораздо большем объёме, чем требуется в настоящее время и неизвестно возможно ли будет его использовать на каких-либо иных заказах. Купить же лист меньших габаритов не представляется возможным, так как поставщики металлопроката продают его целыми листами и только в исключительных случаях у них можно приобрести какую-то часть. А на других заводах таких не использованных ранее частей может быть много, но препятствием для государственных организаций служит постановление Совета Министров [3].

Описанные в статье проблемы можно попытаться минимизировать. Для этого предлагается следующее: 1) создание единой базы остатков металла по Республике Беларусь, в которой была бы актуальная информация о наличии на заводах неиспользованных остатков; 2) упрощение процедур закупок данных остатков на государственном уровне. Примерная форма таблицы единой базы приведена в таблице 3.

Таблица 3. – Примерная форма таблицы единой базы металлопроката

Наименование	Марка стали	Стандарт	Размер	Кол-во, шт	Поставщик	Примечание
лист 10	C245	ГОСТ 19903-74	1250x1500 мм	1	Завод №1	эскиз, фото
лист 40	09г2С	ГОСТ 19903-74	780x360 мм	1	Завод №2	без эскиза
лист 40	09г2С	ГОСТ 19903-74	550x605 мм	1	Завод №2	эскиз, фото
двутавр 70Ш1	С345-3	ГОСТ Р 57837-2017	L=1250 мм	2	Завод №4	-
уголок 200x16	С345	ГОСТ 8509-93	L=12000 мм	4	Завод №5	целые

Указанные выше предложения могут быть полезны заводам и при необходимости купить только часть металла или при продаже не ходовых остатков металлопроката.

Заключение. В нынешних реалиях при такой высокой стоимости металла необходимо скрупулёзно анализировать существующую систему проектирования, покупки и изготовления металлоизделий. Это поможет сократить стоимость металлоконструкций и уменьшить объём отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Кользеев, А.А., Основы металлических конструкций / Кользеев, А.А., Шафрай, А.А. – Новосибирск, 2001 – 59 с.](#)
2. Белорусская универсальная товарная биржа. Цифры и аналитика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.butb.by/tsifry-i-analitika/birzhevye-indeksy/> (дата обращения 08.04.2022)
3. [О мерах по развитию биржевой торговли на товарных биржах: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2004 г. №714: с изм. и доп.: текст по состоянию на 08 апр. 2022 г. – Минск, 2004. – 17 с.](#)