

УДК 69.07

## ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



## ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF USING LIGHTWEIGHT METAL STRUCTURES IN CONSTRUCTION

**Прозорова Александра Сергеевна**

студентка,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
praleksaa@mail.ru

**Леонова Анна Николаевна**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры строительных конструкций,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
lan.75@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются особенности применения облегченных металлических конструкций в строительстве. Приведены принципы конструирования бистальных, предварительно напряженных балок и балок с гофрированной, перфорированной и гибкой стенками. Описываются их достоинства и недостатки и особенности работы.

**Ключевые слова:** облегченные балки, прочность, трудоемкость, экономичность.

**Prozorova Alexandra Sergeevna**

Student,  
Kuban State Technological University  
praleksaa@mail.ru

**Leonova Anna Nikolaevna**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of Building Structures,  
Kuban State Technological University  
lan.75@mail.ru

**Annotation.** This article discusses the features of the use of lightweight metal structures in construction. The principles of designing bistal, prestressed beams and beams with corrugated, perforated and flexible walls are presented. Their advantages and disadvantages and features of their work are described.

**Keywords:** lightweight beams, strength, labor intensity, economy.

**М**еталлические конструкции в настоящее время широко применяются при возведении современных промышленных и общественных зданий и сооружений. Однако, перед проектировщиками стоит актуальная задача облегчения конструкций из металла для снижения массы здания и уменьшения стоимости конструкции, что, в свою очередь, приведёт к экономии бюджета всей стройки. Следовательно, использование облегченных металлических конструкций – важное и необходимое требование современного строительства.

Четкого общепринятого определения понятия «облегченные металлические конструкции» в литературе нет. Под облегченными металлическими конструкциями принято понимать стальные конструкции и системы, у которых, благодаря рациональной конструктивной форме, оптимальным размерам сечений, использованию сталей высокой прочности, металлоемкость существенно снижена по сравнению с традиционными конструкциями [1].

Среди облегченных металлических конструкций самыми распространенными и часто применяемыми являются стальные балки новых конструктивных форм, которые в отдельных случаях более эффективны, чем традиционные прокатные или составные балки, и их применение дает экономический эффект.

К таким конструктивным формам можно отнести облегченные металлические конструкции, а именно: бистальные балки; балки с гибкой стенкой; балки с перфорированной стенкой; балки с гофрированной стенкой; предварительно напряженные балки;

На основе анализа особенностей конструирования, работы и рекомендаций по расчету облегченных конструкций [4] рассмотрим преимущества и недостатки данных металлических конструкций.

Бистальные балки (рис. 1) – это балки из двух марок стали различной прочности, в которых сталь повышенной прочности применяется только в наиболее напряженных

участках поясов балок, а вся стенка и пояса – вблизи опор балки, т.е. участки балки, испытывающие меньшие нормальные напряжения, выполняются из стали малоуглеродистой. Данная особенность конструирования позволяет снизить металлоёмкость, следовательно, экономится металл, что в свою очередь приводит к снижению стоимости.

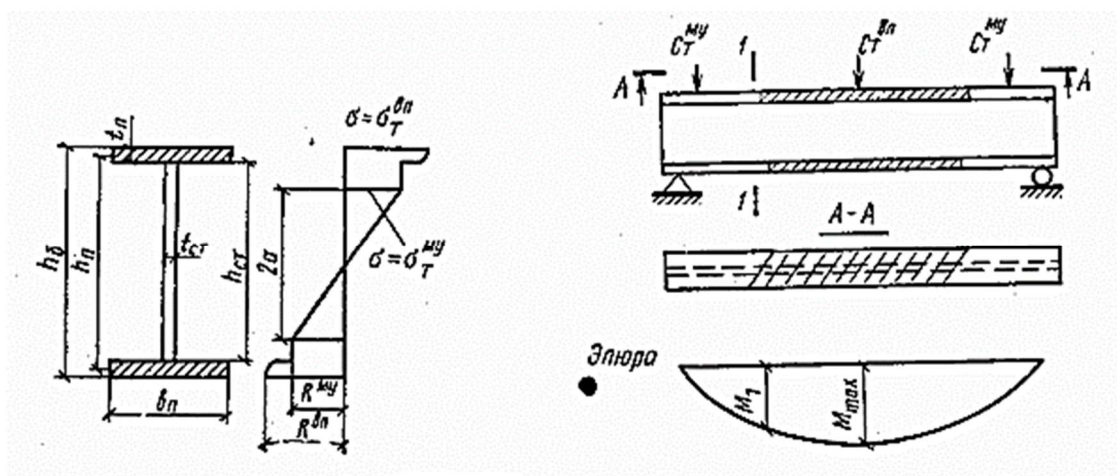


Рисунок 1 – Бистальные балки

Выделяют четыре типа бистальных балок по признаку предела их пластической деформации:

1. Подкрановые балки, работающие в режиме 1К-5К (ГОСТ 25546"82).
2. Балки, которые воспринимают подвижные и вибрационные нагрузки (балки для рабочих площадок, транспортерных галерей).
3. Балки, которые используются для статических нагрузок (балки перекрытий и покрытий; ригели рам, фахверка и другие изгибаемые, растянуто-изгибаемые и сжато-изгибаемые балочные элементы).
4. Балки по функциям схожие с третьим типом, но не подверженные локальным воздействиям, не имеющие продольных ребер жесткости, обладающие повышенной общей и местной устойчивостью.

Таким образом, при проектировании бистальных балок экономия металла при пролете 15 м от 30 % по сравнению с прокатными, при пролете 18 м – от 50 %. Преимущество по сравнению с другими сварными балками (например, балки с гибкой стенкой) – несущая способность на 33 % выше, при той же массе. При работе с циклическими нагрузками бистальные балки обладают большей износостойкостью, чем обычные балки. К основным недостаткам данной конструкции относят повышенную трудоемкость изготовления.

Балки с гибкой стенкой (рис. 2) в строительстве применяют относительно недавно. Изначально они появились в конструкциях каркасов летательных аппаратов, где для легкости стенки выполняли из прочной ткани. Плоская стенка в такой балке теряет устойчивость в начальной стадии нагружения, приобретая вторую устойчивую форму в виде наклонно гофрированной (у опор, где преобладает сдвиг), либо вспарушенной (в зонах с преобладающими напряжениями сжатия) поверхности. После снятия нагрузки эти деформации стенок исчезают.

Выделяют несколько типов балок с тонкими стенками:

1. С поперечными ребрами, приваренными к стенке – двусторонними и одно-сторонними, или не связанными с нею;
2. Балки без поперечных ребер.

По статической схеме балки с гибкой стенкой могут быть разрезными и неразрезными, а по очертанию – постоянной или переменной высоты (двускатные либо односкатные). Применяют такие балки в качестве прогонов, стропильных и подстропильных конструкций пролетом от 12 до 36 м с соотношением постоянных и временных нагрузок от 1/1,5 до 1/2, балок жесткости, комбинированных балочно-вантовых систем, балок-стенок бункеров, стенок крупногабаритных вентиляционных коробов, газоходов.

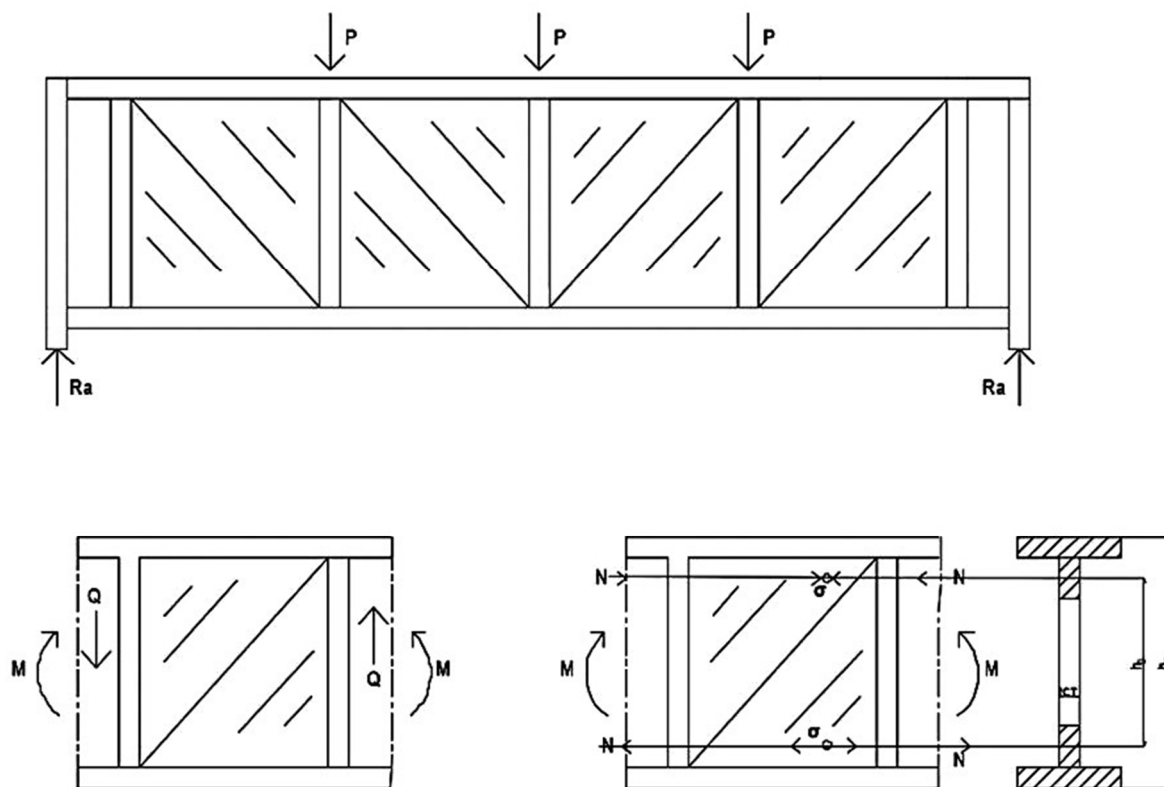


Рисунок 2 – Балка с гибкой стенкой

Уменьшение относительной толщины стенки  $\lambda w = hw / tw$  в 2–3 раза приводит к снижению расхода металла на стенку на 25–35 % и к концентрации металла в поясах, что выгодно по условиям работы на изгиб. Применение балок с очень тонкими стенками уместно при стабильном направлении действия статических временных нагрузок.

Балки с гофрированной стенкой – это разновидность балок с гибкой стенкой (рис 3). Одним из путей снижения металлоемкости балок является гофрирование их стенок. Гибкость таких стенок можно повысить до 300–600, к тому же чем тоньше стенка, тем легче выполнить ее гофрирование.

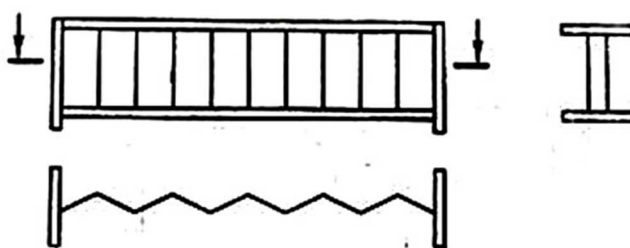


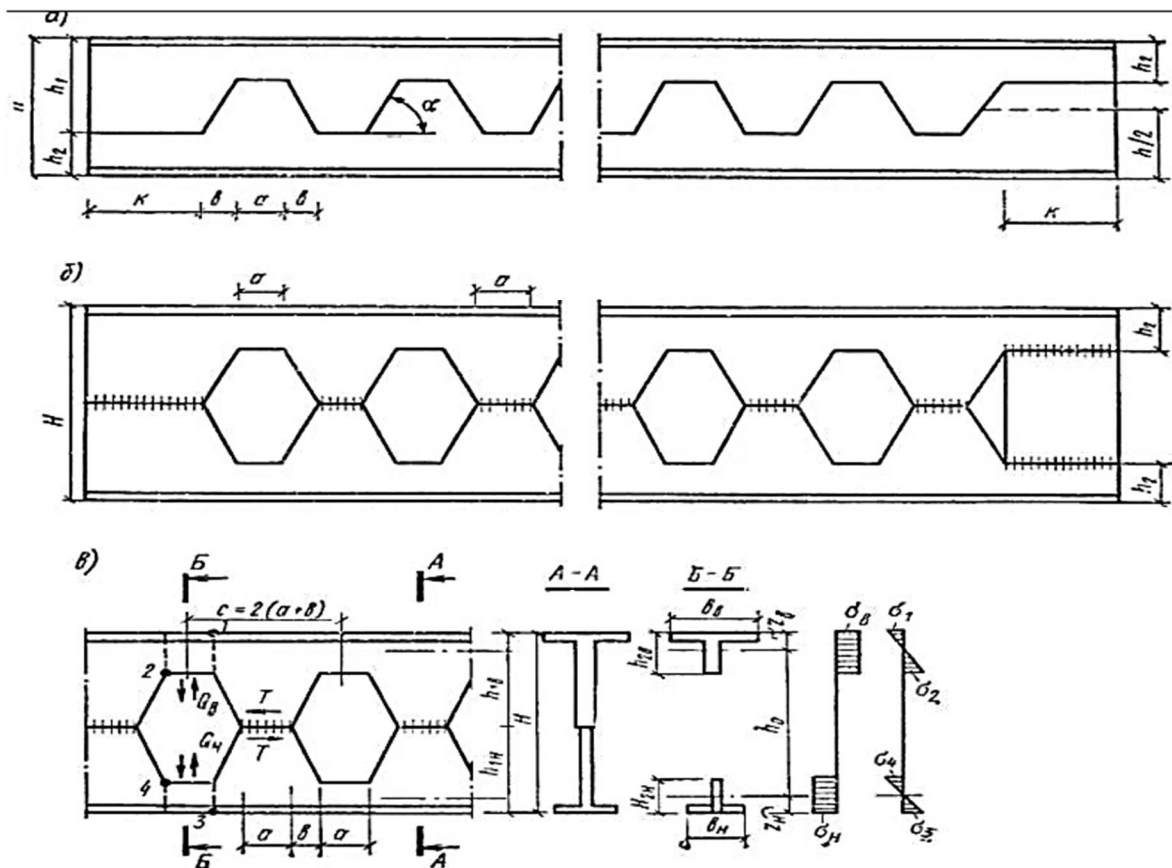
Рисунок 3 – Балка с гофрированной стенкой

Толщину гофрированных стенок принимают в пределах от 2 до 8 мм, что обеспечивает им все преимущества, определяемые тонкостенностью. В изготовлении стенок появляется дополнительная технологическая операция – гофрирование, при этом усложняется сварка поясных швов. Но уменьшение толщины стенки и исключение значительного числа ребер жесткости приводят в конечном счете к снижению трудозатрат на изготовление балок на 15–25 %. По трудоемкости изготовления и расходу металла балки с гофрированной стенкой выигрывают и у балок с гибкой стенкой благодаря резкому снижению числа ребер жесткости, повышенной крутильной жесткости балок и высокой местной устойчивости стенки.

Балки с гофрированной стенкой дольше работают в упругой стадии, чем балки с гибкой стенкой той же толщины. Деформативность балок с гофрированной стенкой на 15–20 % ниже, чем у балок с гибкой стенкой с теми же параметрами.

Область применения балок с гофрированной стенкой шире, чем балок с гибкой стенкой: они применимы в подкрановых конструкциях и во всех других случаях, когда требуется повышенная жесткость балок на кручение.

**Балки с перфорированной стенкой** (рис. 4) образуются путем разрезки стенки прокатного двутавра по зигзагообразной линии с последующей раздвижкой и сваркой встык частей двутавров по выступам стенки.



**Рисунок 4** – Балки с перфорированной стенкой:  
 а) роспуск исходного двутавра; б) сварка сквозного двутавра; в) к расчету сквозного двутавра

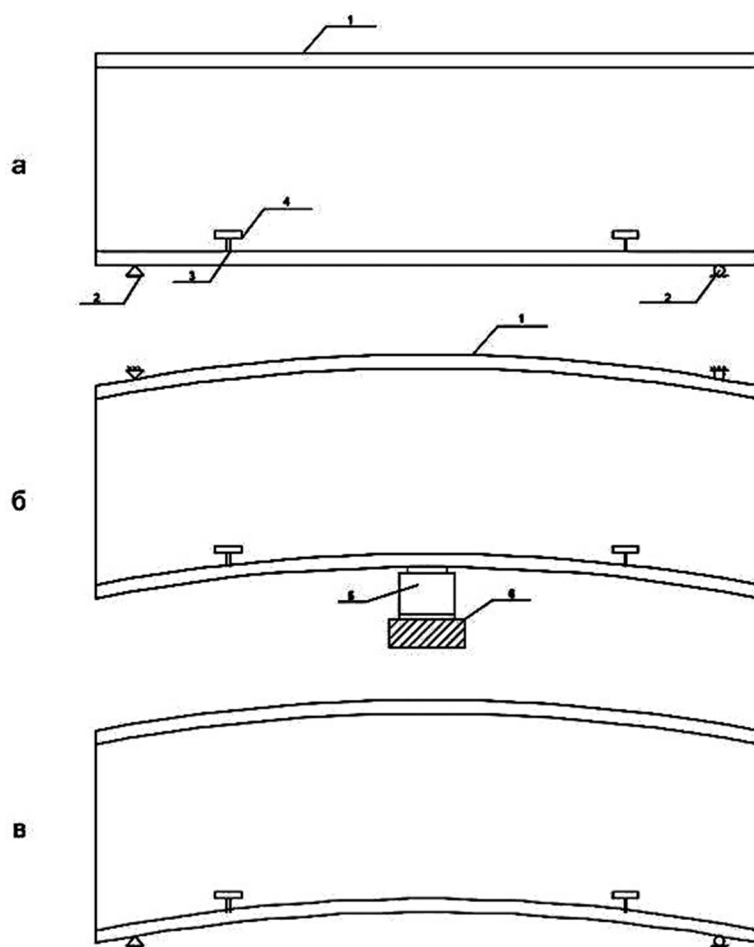
Расход металла в таких балках на 20–30 % меньше, чем в обычных прокатных балках, при одновременном снижении стоимости на 10–18 %. Дополнительные затраты труда на разрезку и сварку исходного проката невелики: в сравнении со сварными составными двутаврами по трудоемкости изготовления перфорированные балки на 25–35 % эффективнее за счет сокращения объема сварки и значительно меньшей трудоемкости операций обработки. Несущая способность балок с перфорированными стенками в 1,3–1,5 раза выше, чем у исходного двутавра, что определяется их большей высотой.

Однако следует иметь в виду, что у балок с перфорированными стенками при циклических или ударных воздействиях, особенно в условиях низких температур, когда развитие пластических деформаций сковано, в углах отверстий могут появиться трещины.

Конструктивные решения балок с перфорированной стенкой отличаются большим разнообразием, возможно изготовить балки одно – и двускатные, с уклоном как в верхнем, так и в нижнем поясе.

Данные балки высокоэффективны при значительных пролетах и относительно небольшой нагрузке, особенно в тех случаях, когда требуется повышенная изгибная жесткость по условию предельного прогиба.

Еще одним видом облегченных металлических конструкций являются предварительно напряженные балки (рис. 5).



**Рисунок 5** – Предварительно напряженная балка

а – перед изгибом с вертикальными прорезями и продольными ребрами; б – в процессе напряжения; в – общий вид; 1 – балка; 2 – опоры; 3 – прорезь; 4 – продольные ребра; 5 – домкрат; 6 – жесткий упор

Предварительное напряжение – это один из способов увеличения эффективности использования материала конструкций. С его помощью удастся уменьшить расход металла на 5–12 %, понизить строительную высоту балки, добиться более рационального распределения материала по длине балки.

Результативность предварительного напряжения состоит в том, что при сборке конструкции в ней создаются напряжения, обратные по знаку напряжения от нагрузки. То есть во время эксплуатации конструкции эти напряжения будут задействованы в первую очередь, и только после того, как они достигнут лимита восприятия нагрузки, нагрузку начнет воспринимать материал. Предварительное напряжение увеличивает продолжительность упругой работы материала, из которого выполнена основная часть конструкции, и уменьшает стоимость предварительно напряженных балок, так как высокопрочные материалы для них частично могут заменить основной материал конструкции и они дешевле конструкционной стали. Стоимость одной тонны стали (удельная стоимость) уменьшается с повышением прочности стали.

Таким образом, поиск решений по усовершенствованию балочных конструкций привел к появлению ряда новых конструктивных форм, которые более эффективны, чем традиционные прокатные или составные балки, и их применение дает экономический эффект, как, например, снижение весовых показателей, экономия стали до 10–50 %, экономия энергозатрат на их изготовление. Основными преимуществами облегченных балок по сравнению с другими сварными балками – это надежность и повышенные прочностные характеристики: увеличение несущей способности до 40 % выше, при той же массе, большая устойчивость к сжатию и нагрузкам на изгиб, большая устойчивость к влиянию атмосферных осадков и механических разрушений, что, в свою очередь, повышает безопасность строительных конструкций и сооружений в целом.

### Литература

1. Холопов И.С. Облегченные металлические конструкции – опыт, разработка, внедрение / И.С. Холопов [и др.] // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2011. – № 12(155). – С. 40–45.
2. Иванов П.С. Оптимизация бистальных двутавровых балок с учетом действия продольных сил / П.С. Иванов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2004. – № 1(9). – С. 34–44.
3. Сорокина Е.Н. Балки и балочные клетки : учеб. пособие / Е.Н. Сорокина, А.Н. Леонова. – Краснодар : Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом – Юг», 2020. – 182 с.
4. Хейшхо А.Б. Пути совершенствования балочных конструкций / А.Б. Хейшхо, А.В. Пальянова, А.Н. Леонова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 4. – С. 305–309.
5. Святошенко А.Е. Балки с перфорированной стенкой в большепролетных покрытиях зданий / А.Е. Святошенко // Вестник НИЦ Строительство. – 2021. – № 1(28). – С. 85–91.

### References

1. Kholopov I.S. Lightweight metal structures – experience, development, implementation / I.S. Kholopov [et al.] // Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. – 2011. – № 12(155). – P. 40–45.
2. Ivanov P.S. Optimization of biscal I-beams taking into account the action of longitudinal forces / P.S. Ivanov // Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Construction. – 2004. – № 1(9). – P. 34–44.
3. Sorokina E.N. Beams and beam cells : manual / E.N. Sorokina, A.N. Leonova. – Krasnodar : Limited Liability Company «Publishing House – South», 2020. – 182 p.
4. Heishkho A.B. Ways to improve beam structures / A.B. Heishkho, A.V. Palyanova, A.N. Leonova // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 4. – P. 305–309.
5. Svyatoshenko A.E. Beams with a perforated wall in large-span covers of buildings / A.E. Svyatoshenko // Bulletin of the Research Center Construction. – 2021. – № 1(28). – P. 85–91.