

Конструктивные особенности и тонкости расчета балок с перфорированными стенками

Приходько Себастьян Николаевич

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью исследования является рассмотрение особенностей балок с перфорированными стенками и выполнение, анализ выполненных расчетов. Использованы поисковые, аналитические и сравнительные методы исследования. В результате определены ключевые особенности балок с перфорированными стенками и выполнены соответствующие расчеты.

Ключевые слова: строительство, расчет, балки, перфорированные, отверстия, напряжения, эпюра, прочность.

Design features and subtleties of calculation of beams with perforated walls

Prikhodko Sebastian Nikolayevich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this study is to consider the features of beams with perforated walls and perform and analyze the calculations performed. Search, analytical and comparative research methods were used. As a result, the key features of beams with perforated walls were determined and the corresponding calculations were performed.

Keywords: construction, calculation, beams, perforated, holes, stresses, diagram, strength.

1. Введение

В строительной отрасли одним из наиболее важных факторов, влияющих на конечную цену конструкций, является себестоимость материалов и технологий, используемых в процессе их производства. Это особенно актуально при проектировании и строительстве железобетонных и металлических конструкций, где стоимость материала и трудозатраты составляют значительную часть общей суммы. В связи с этим инженеры всегда стремятся найти способы уменьшить себестоимость без ущерба для прочности и надежности сооружений. Одним из эффективных методов достижения этой цели стало внедрение инновационных технологий, таких как проектирование балок с перфорированными стенками.

Еще в начале XX века специалисты начали проводить исследования, направленные на снижение массы конструктивных элементов без потери их прочностных характеристик. Одним из первых шагов в этом направлении стало испытание изгибаемых элементов, таких как балки. На основе результатов этих экспериментов инженеры пришли к решению о создании балок с перфорированными стенками, что позволило значительно снизить их массу и, соответственно, стоимость.

В статьях И.А. Васюкова, А.В. Соловьева и Л.В. Катина производится анализ прочностных характеристик балок с перфорированной стенкой [3, 5]. В публикациях А.А. Аль Хетари и И.С. Холопова, А.О. Лукина, Р.Р. Валькаева описываются особенности балок с перфорированными стенками, а также способы их совершенствования [1, 4]. В работе Д.Ю. Пикина, Е.И. Курочкиной описаны экономические преимущества применения балок составного сечения с перфорированной стенкой [2].

Целью исследования является рассмотрение особенностей балок с перфорированными стенками и выполнение, анализ выполненных расчетов.

В работе были определены ключевые особенности балок с перфорированными стенками и выполнены соответствующие расчеты.

2. Технология перфорированных двутавров

Идея заключалась в том, чтобы заменить традиционные сплошные прокатные двутавры на конструкции с перфорированными элементами. Для этого стенки двутавра разрезаются по зигзагообразной линии с регулярным шагом, что выполняется с помощью газовой резки или с применением мощных прессов. После этого две половины разрезанных балок соединяются сваркой в местах, где стыкуются выступы стенки.

Такой метод позволяет увеличить высоту балки, что в свою очередь способствует перераспределению материала в сечении ближе к полкам, где нормальные напряжения наиболее высокие. Это, в свою очередь, значительно улучшает геометрические характеристики сечения балки.

Увеличение высоты сечения в полтора раза, как показали эксперименты, ведет к пропорциональному росту момента сопротивления балки и увеличению момента инерции в два раза. Это дает значительные преимущества в прочности конструкции при уменьшении расхода металла.

Основной причиной улучшения эффективности двутавра с перфорированной стенкой является именно увеличение высоты балки и уменьшение толщины стенки, которая составляет от 1/75 до 1/95 от общей высоты конструкции. Благодаря перфорации удаляется до 35-40% материала, что делает такие конструкции более легкими и экономичными.

Балка с перфорированной стенкой может обеспечить экономию металла на уровне 20-30% по сравнению с традиционными сплошными двутаврами, что ведет к снижению их стоимости на 10-18%. Этот подход имеет большие перспективы в строительной отрасли, особенно в тех случаях, когда требуется массовое производство стальных конструкций.

3. Разнообразие конструктивных решений

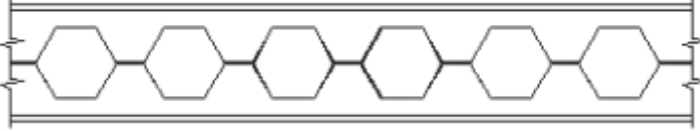
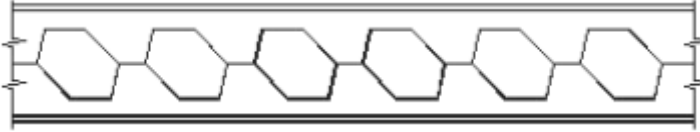
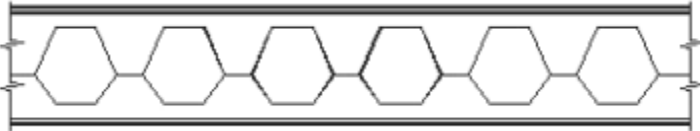
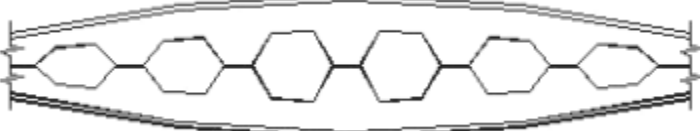
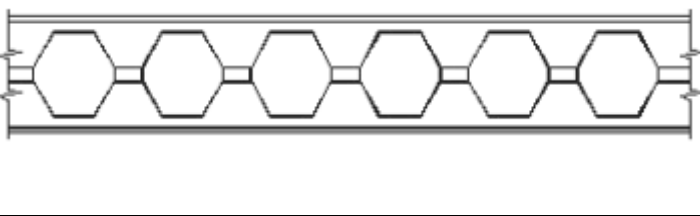
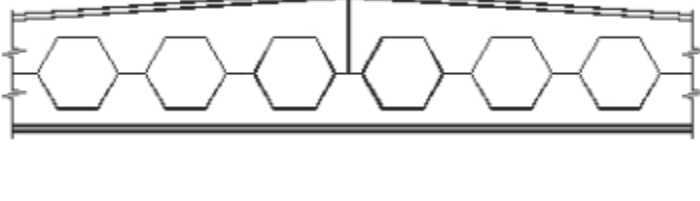
Конструктивные особенности балок с перфорированной стенкой могут различаться в зависимости от типа и схемы резки стенки. Так, существуют симметричные и асимметричные варианты (табл. 1).

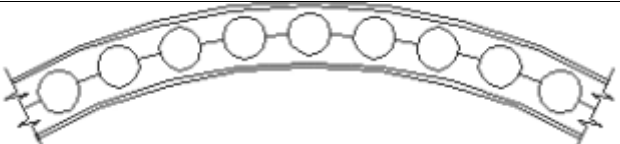
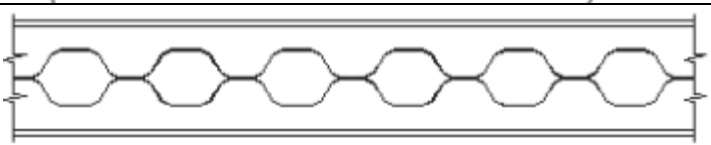
При симметричном резе из двух половинок, полученных от различных двутавров, можно создать балки с вставками или без них.

В случае асимметричной резки получается конструкция, в которой один конец балки остается без вставки, а другой — с вставкой. Также возможна разработка двутавров с перфорированной стенкой, изготовленных из заготовок разных типов двутавров, что дает возможность улучшить местную устойчивость сжатых поясов.

Кроме того, применение наклонных резов позволяет создавать балки с перфорированными стенками переменного сечения, что дает дополнительные преимущества в проектировании конструкций, где требуется оптимизация распределения материалов.

Таблица 1. Возможные конструкции балок со сквозной стенкой

Особенности компоновки	Конструкция балок со сквозной стенкой
Балка с симметричной линией реза	
Балка с разными углами реза	
Балка с асимметричной линией реза	
Балка с криволинейной линией реза	
Балка с дополнительными вставками симметричной линией реза	
Балка из сквозных двутавров, сваренных наибольшими сечениями вместе	

Криволинейная балка с круговыми резами	
Балка с линией реза с закруглением в углах	

4. Особенности балок с перфорированными стенками

Наличие отверстий в стенке двутавра существенно меняет картину распределения нормальных напряжений по высоте сечения балки. Это явление было подробно изучено в ходе многочисленных испытаний, и результаты показали, что в сечении без отверстий нормальные напряжения распределяются по линейному закону, в то время как в зонах с отверстиями происходит их концентрация. Однако даже в таких участках распределение напряжений сохраняет схожесть с тем, как они распределяются в сплошных двутаврах.

Особенности работы балки с перфорированной стенкой проявляются и в других аспектах. Например, в области соединений балки с полками могут возникать дополнительные поперечные силы, которые создают дополнительный изгиб, что также важно учитывать при проектировании таких конструкций.

5. Расчет балки с перфорированными стенками

Существуют методики расчета балки с перфорированными стенками, в которых используются простые модели расчета (оценивается несущая способность исключительно в упругой стадии и без учета концентрации напряжений в периферии отверстия), а для более сложных конструкций применяется метод конечных элементов.

Расчет на прочность перфорированных балок (рис.1), изгибаемых в плоскости стенки, выполняется с помощью следующих формул: для точек, находящихся в углах вырезанных отверстий на расстоянии $0,5d$ от оси $x - x$,

$$\frac{M}{W_x} + \frac{Qa}{4W_{min}} \leq R_u \gamma_c$$

Для точек, которые находятся над углами отверстий на расстоянии $0,5h$ от оси $x - x$,

$$\frac{M}{W_x} + \frac{Qa}{4W_{max}} \leq R_y \gamma_c$$

$$\frac{Q_s s}{t a h_{ef}} \leq R_s \gamma_c$$

M – изгибающий момент;

Q – поперечная сила;

Q_s – поперечная сила на расстоянии $(c + s - 0,5a)$ от опоры;

W_x – собственный момент сопротивления в сечении балки с отверстием относительно оси $x - x$;

$W_{\max}$, $W_{\min}$ – наибольший и наименьший моменты сопротивления таврового сечения.

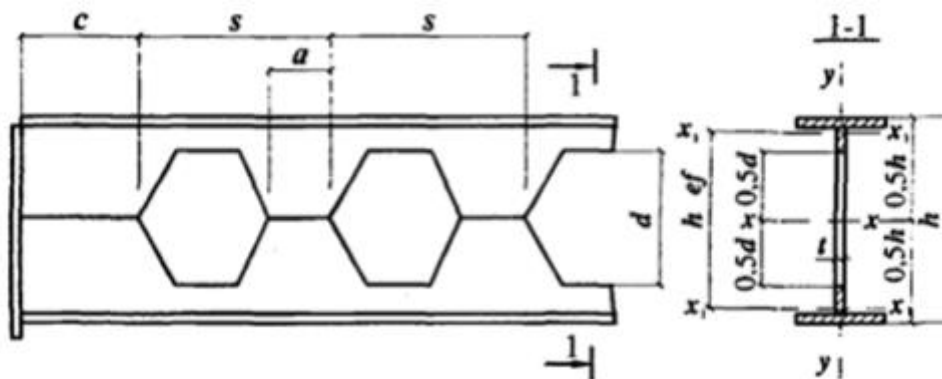


Рисунок 1. Схематическое изображение участка балки с перфорированной стенкой

Методика расчета общей устойчивости балок с перфорированной стенкой осуществляется аналогично обычной балке (геометрические характеристики вычисляются по сечению с отверстием).

С помощью учёта момента инерции по сечению с отверстием можно проверить прогиб балки. Важно уточнить, что момент инерции будет умножаться на 0,95 [6], если в расчётах участвует балка с отношением

$$\frac{1}{h_{ef}} \geq 12$$

Все методики прописаны в СП16.13330.2011(Стальные конструкции) [6] и СП 20.13330.2011 (Нагрузки и воздействия) [7], на основе них были проведены расчеты на подбор поперечного сечения балки настила из сплошных и сквозных двутавров (рис. 2). Все полученные результаты зафиксированы в таблице №2.

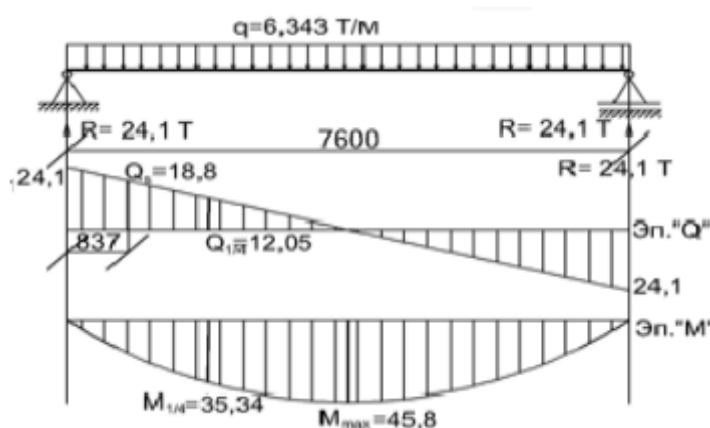


Рисунок 2. Расчетная схема балки и эпюры

Таблица 2. Результаты расчета сквозного и сплошного двутавра

№	Наименование	Балка с перфорированной стенкой	Балка со сплошной стенкой
1	Поперечное сечение	Двутавр 45 Б2	Двутавр 50 Б2
2	Металлоемкость (кг/м ²)	27	33,28
3	Запас прочности	Больше	Меньше
4	Учет пластических деформации	Без учета пластических деформации	С учетом пластических деформации
5	Прогиб (см)	2,58	3,15

6. Заключение

Таким образом, на основе выполненных расчетов, можно сделать вывод, что технология проектирования балок с перфорированными стенками представляет собой эффективное решение для снижения себестоимости в строительстве. Этот подход позволяет значительно уменьшить расход металла, повысить прочностные характеристики конструкций и сократить общие затраты на строительство. Инновации в проектировании, такие как использование балок с переменным сечением и различных схем резки, открывают новые возможности для оптимизации материала и адаптации конструкций под конкретные условия эксплуатации.

Библиографический список

1. Аль Хетари А.А. Особенности работы и расчета балок с перфорированной стенкой // Символ науки: международный научный журнал. 2018. №6. С. 11-14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35089579>
2. Пикин Д.Ю., Курочкина Е.И. Экономическое обоснование применения металлической балки составного сечения с перфорированной стенкой в каркасе жилого дом // Инновации в строительстве. 2017. С. 261-4263. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32688822>
3. Катин Л.В. Напряженное состояние стенки перфорированных балок с различной формой отверстий// Студенческая наука исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды. 2014. С. 258. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22430650>
4. Холопов И.С., Лукин А.О., Валькаев Р.Р. Совершенствование конструкции балки с перфорированной стенкой//Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. строительство. 2015. С. 15-17. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59320400>
5. Васюков И.А., Соловьев А.В. Анализ жесткостных характеристик двутавровых балок с перфорированной стенкой// Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. 2013. С. 345-346. URL:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23097100>

6. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции
7. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия