

Расчёт прогиба балки покрытия с учётом длительных нагрузок

Болтовский Лев Александрович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью исследования является описание методик расчетов и непосредственные расчеты прогиба стальной балки с учетом длительных нагрузок. В ходе данной работы использованы поисковые и вычислительные методы исследования, позволившие рассчитать оказываемую нагрузку на стальную балку. В результате описаны методики расчетов, получено значение прогиба стальной балки покрытия.

Ключевые слова: стальная балка, прогиб, длительная нагрузка, двутавр 30Б1

Calculation of deflection of a beam covering taking into account long-term loadings

Boltovskiy Lev Alexandrovich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of the study is to describe calculation methods and direct calculations of the deflection of a steel beam, taking into account long-term loads. In the course of this work, search and computational research methods were used, which made it possible to calculate the load exerted on the steel beam. As a result, calculation methods are described, and the deflection value of the steel beam of the coating is obtained.

Keywords: steel beam, deflection, long-term load, I-beam 30B1

1. Введение

1.1 Актуальность исследования

Актуальность темы расчёта прогиба стальной балки покрытия с учётом длительных нагрузок обусловлена возрастающими требованиями к надёжности и эксплуатационной пригодности современных зданий и сооружений. В условиях интенсификации строительства и оптимизации материальных затрат особое значение приобретает корректная оценка деформаций несущих элементов, поскольку чрезмерные прогибы могут приводить к нарушению нормальной работы конструкций, повреждению ограждающих элементов и снижению долговечности зданий.

1.2 Обзор исследований

В статье В. В. Семенова [1] рассматриваются вопросы обеспечения устойчивости и несущей способности стержней в области упругой работы материала при одновременном действии изгибающего момента и продольной сжимающей силы в случаях, когда принцип независимости действия сил не может быть распространен вследствие их гибкости, а все расчеты проводятся по так называемой деформированной схеме. Рассчитаны пластические деформации и внутренние напряжения в консольных и двухопорных стальных двутавровых балках в условиях приложения сосредоточенных или распределенных сил и сосредоточенного момента посредством конечно-элементного моделирования в программной среде Comsol Multiphysics. Представлены аналитические уравнения, характеризующие изменение физических и механических свойств материала при различных степенях пластической деформации двутавровой балки в исследовании, Д. А. Чемезов [2]. В работе У. Хухуудэй [3] показаны преимущества применения стальных балок с гофрированной стенкой. Исследованы основные вопросы проектирования и конструктивного решения гофробалок. Проверочный расчет гофробалки на жесткость и прочность проведен для конкретного примера. Для гофробалки исследованы напряжения и прогиб, а также проведена проверка на устойчивость. Определены максимальные вертикальные перемещения балок для обоих рассмотренных вариантов численного моделирования. Получены изгибающие моменты в балках и выполнено сравнение полученных значений для численного и теоретического расчетов. в исследовании М.П.Бергера [4]. Исследуется напряженно-деформированное состояние полигональной плоской арочной конструкции из деревянных двутавровых балок с применением стальных труб для соединения. Выполнены аналитический и численный расчеты вариантов моделей в исследовании В. В. Стоянова [5].

1.3 Цель исследования

Целью исследования является описание методик расчетов и непосредственные расчеты прогиба стальной балки с учетом длительных нагрузок.

2. Материалы и методы

В качестве материалов в данной работе использованы нормативные и справочные источники, регламентирующие расчёт и проектирование стальных строительных конструкций. Основу составляют действующие строительные нормы и правила, устанавливающие требования к учёту нагрузок и деформаций, а также сортаменты стального проката, содержащие геометрические и расчётные характеристики двутавровых профилей. Дополнительно использованы учебные и научные издания по сопротивлению материалов и строительной механике, описывающие теоретические основы работы балок при изгибе.

3. Результаты и обсуждение

Прогиб балки – это одна из форм деформации изгибаемых элементов, выражающуюся в изменении их первоначальной геометрической оси под действием внешних нагрузок. В процессе эксплуатации зданий и сооружений балки воспринимают постоянные и временные нагрузки, которые вызывают внутренние усилия и приводят к отклонению оси элемента от проектного положения. Это отклонение, измеряемое перпендикулярно первоначальной оси балки, и называется прогибом.

Длительная нагрузка представляет собой разновидность внешнего воздействия на конструкции, характеризующуюся продолжительным временем действия, сопоставимым со значительной частью срока эксплуатации здания или сооружения. В отличие от кратковременных нагрузок, возникающих эпизодически и действующих в течение ограниченного промежутка времени, длительные нагрузки оказывают устойчивое влияние на напряжённо-деформированное состояние конструктивных элементов и в значительной мере определяют их эксплуатационные характеристики.

Двутавр 30Б1 – это прокатный стальной профиль двутаврового сечения, широко применяемый в строительстве и машиностроении в качестве несущего элемента, работающего преимущественно на изгиб. Геометрическая форма профиля характеризуется наличием двух параллельных полок, соединённых вертикальной стенкой, что обеспечивает рациональное распределение материала относительно нейтральной оси и высокую изгибную жёсткость при сравнительно малой массе.

Необходимые вводные для начала расчетов: балка покрытия однопролетная, шарнирно опертая, нагрузка равномерно распределена. Пролет балки (l) = 6 метров

Геометрические характеристики балки по сортаменту

Момент инерции

$$I_x = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

Модуль упругости стали

$$E = 2,0 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Виды нагрузок, оказываемые на балку: временные и постоянные.

К постоянной нагрузке относятся собственный вес балки, а также вес кровельного пирога, которая равна

$$g = 4,0 \text{ кН/м}$$

К временной нагрузке относят снеговую.

Полная снеговая

$$s = 3,0 \text{ кН/м}$$

Длительная часть (по СП $\approx 0,7$)

$$s_{\text{дл}} = 0,7 \cdot s = 2,1 \text{ кН/м}$$

Полная нагрузка равна

$$q_{\text{полн}} = g + s = 4,0 + 3,0 = 7,0 \text{ кН/м}$$

Длительная нагрузка равна

$$q_{\text{дл}} = g + s_{\text{дл}} = 4,0 + 2,1 = 6,1 \text{ кН/м}$$

В системе измерений

$$q_{\text{полн}} = 7000 \text{ Н/м}$$

$$q_{\text{дл}} = 6100 \text{ Н/м}$$

Расчет изгибающего момента

Формула для расчета

$$M_{\text{max}} = \frac{ql^2}{8}$$

От полной нагрузки

$$M_{\text{полн}} = \frac{7000 \cdot 6^2}{8} = 31,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

От длительной нагрузки

$$M_{\text{дл}} = \frac{6100 \cdot 6^2}{8} = 27,45 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Проверка по прочности

Момент сопротивления

$$W_x = \frac{I_x}{y} \approx 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Напряжение

$$\sigma = \frac{M_{\text{дл}}}{W_x} = \frac{27,45 \cdot 10^3}{3,6 \cdot 10^{-4}} \approx 76 \text{ МПа}$$

Допускаемое для стали

$$\sigma_{\text{доп}} \approx 160 \text{ МПа}$$

$$\sigma < \sigma_{\text{доп}} \Rightarrow \text{прочность обеспечена}$$

Расчет прогиба по формуле

$$f = \frac{5ql^4}{384EI}$$

Тогда

$$f_g = \frac{5 \cdot 4000 \cdot 6^4}{384 \cdot 2,0 \cdot 10^{11} \cdot 5,4 \cdot 10^{-5}}$$
$$f_g = 6,3 \text{ мм}$$

Прогиб от длительной части снеговой нагрузки

$$f_{s,\text{дл}} = \frac{5 \cdot 2100 \cdot 6^4}{384 \cdot 2,0 \cdot 10^{11} \cdot 5,4 \cdot 10^{-5}} \approx 0,0033 \text{ м}$$

Тогда общий прогиб от длительных нагрузок

$$f_{\text{дл}} = f_g + f_{s,\text{дл}} = 6,3 + 3,3 = 9,6 \text{ мм}$$

Проверка по жёсткости

Допустимый прогиб для балок покрытия

$$f_{\text{доп}} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ мм}$$

Сравнение

$$f_{\text{дл}} = 9,6 \text{ мм} < f_{\text{доп}} = 24 \text{ мм}$$

4. Выводы

В ходе исследования рассмотрен расчёт прогиба стальной балки покрытия с учётом действия длительных нагрузок. Для анализа принята однопролётная шарнирно опёртая балка, выполненная из стандартного

прокатного двутаврового профиля 30Б1, геометрические характеристики которого были приняты по сортаменту. Расчёт выполнен с использованием классических зависимостей сопротивления материалов, применяемых при оценке эксплуатационных предельных состояний.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных результатов при реальном проектировании и оценке эксплуатационной пригодности строительных конструкций.

Библиографический список

1. Семенов В. В., Уламбаяр Х. Расчет гибких стержней на продольно-поперечный изгиб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. №. 2(25). С. 148-158. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35173181>. (Дата обращения 24.01.26).
2. Чемезов Д. А., Князьков Е. С., Павлухина И. М. [и др.] // Изгибы консольных и двухопорных стальных двутавровых балок Theoretical & Applied Science. 2019. № 1(69). С. 261-267. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36916809> (Дата обращения 24.01.26).
3. Хухуудэй У., Дмитриева Т. Л. К вопросу исследования и расчета двутавровой балки с гофростенкой // Знание. 2018. №. 5-1(57). С. 73-79. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35005530>. (Дата обращения 24.01.26).
4. Бергер М. П. Численное моделирование железобетонных перекрытий из сборных плит по стальным балкам // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. №. 7. С. 1072-1082. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82854055>. (Дата обращения 24.01.26).
5. Стоянов В. В., Бойко А. В. Экспериментальные исследования соединения полигональной плоской арочной конструкции из деревянных двутавровых балок // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. №. 1(114). С. 28-31. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65633458>. (Дата обращения 24.01.26).