

Расчет стальной балки двутаврового профиля

Богаткин Максим Антонович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Металлические конструкции обрели большую популярность, стальные прокатные изделия нередко можно встретить в конструкциях зданий и сооружений. Торговые центры, склады, мосты и эстакады – лишь малая часть применения стального проката. И расчёт элементов подобных сооружений неотъемлемая часть современного строительства. Профилированные изделия имеют высокую несущую способность для их площади поперечного сечения. В рамках данной статьи был проведен расчёт стальной балки настила, подобран номер стального проката, проведена проверка в ПК ЛИРА САПР.

Ключевые слова: Metallokonstrukcii, двутавровая балка, балка настила, ПК ЛИРА САПР.

Calculation of an I-beam steel beam

Abstract

Metal structures have gained great popularity, rolled steel products can often be found in the structures of buildings and structures. Shopping centers, warehouses, bridges and overpasses are just a small part of the use of rolled steel. And the calculation of the elements of such structures is an integral part of modern construction. Profiled products have a high load-bearing capacity for their cross-sectional area. Within the framework of this article, the calculation of the steel flooring beam was carried out, the number of rolled steel was selected, and a check was carried out in the SP LIRA CAD.

Keywords: Metal structures, I-beam, deck beam, SP LIRA CAD.

1. Введение

1.1 Актуальность исследования

Металлические конструкции обрели большую популярность, стальные прокатные изделия нередко можно встретить в конструкциях зданий и сооружений. Торговые центры, склады, мосты и эстакады – лишь малая часть применения стального проката. И расчёт элементов подобных сооружений неотъемлемая часть современного строительства. Профилированные изделия имеют высокую несущую способность для их площади поперечного сечения. Наибольшее распространение металлоконструкции получили в строительстве промышленных зданий и заняли значимое место в современном строительстве.

1.2 Обзор исследований

Д. М. Исеменова рассматривает проектирование стержневых конструкций в программном комплексе на примере металлоконструкции строительного башенного крана КБ-473, который представляет собой стационарный башенный кран с неповоротной башней и полноповоротной балочной стрелой, снабженной грузовой тележкой, технические характеристики, которого изменяются в зависимости определенных условий на местности. КБ-473 используется для строительно-монтажных работ при возведении гражданских и промышленных зданий и сооружений с массой элементов монтажа до 8 тонн [1]. В статье А. А. Ермаковой авторы пытаются определить необходимость расчета элементов стальных конструкций, приводят примеры расчета, уровень усталости материала и предельные прочностные характеристики стальной конструкции. Материалы, находящиеся под воздействием циклических переменных нагрузок, со временем изменяют свои механические свойства. Высокий процент разрушений элементов конструкций происходит из-за усталости (ошибок на стадии проектирования или производства), пишет А. А. Ермакова [2]. В статье Г. И. Белого предложен аналитически-численный метод расчета стержневых элементов легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) на общую устойчивость, в котором редуцированное сечение заменяется на нередуцированное с компенсирующим догрузением фиктивной продольной силой. Зависимость ее от действующей продольной силы с одно- или двухосным эксцентриситетами устанавливается при их совместном действии по фиктивным напряжениям в центре тяжести ослабления наиболее напряженного сечения стержня. При этом учитывается влияние соответствующих поставленной задаче устойчивости (изгибных, изгибно-крутильных или пространственных) перемещений на усилия. Аналитическая часть решения задач устойчивости построена для известных параметров реального ослабления сечения [3]. В статье А. И. Гарипова предложена методика расчета узлов стальных конструкций по результатам расчета стальной конструкции в целом на сейсмическое воздействие линейно-спектральным методом. Методика позволяет достичь равновесия приложенных к узлу сил и моментов, при этом предельные значения внутренних усилий, получаемые по предложенной методике, соответствуют внутренним усилиям, вычисляемым согласно действующим нормам [4]. Д. С. Бородским рассмотрена методика расчета усиленных под нагрузкой стержневых элементов стальных конструкций открытого профиля на прочность при многопараметрическом нагружении. Для сокращения объема вычислений используется «обратный» ход решения задачи прочности с использованием алгоритма «Сечение» в безразмерных параметрах. По предельному состоянию стержня в наиболее нагруженном сечении по заданным относительным эксцентриситетам определяются фактически действующие усилия с учетом упругопластической работы материала [5].

1.3 Цель исследования

Выполнить расчет шарнирно опертой стальной балки двутаврового сечения, несущей стальной настил. Проверить полученные результаты в программе ЛИРА САПР оценить уровень загрузки. Сравнить параметр прогиба балки, рассчитанный программой, с полученным в расчёте значением

2. Методы исследования

Расчёт через требуемый момент сопротивления сечения. Расчёт производится по методу предельных состояний. Подбор удовлетворяющего требуемым геометрическим характеристикам двутавра был сделан среди представленных в ГОСТ Р 57837-2017.

3. Результаты

Исходные данные:

Балки настила – прокатные, из двутаврового профиля по ГОСТ 26020-83, тип. Б; 1-го класса; стальной настил толщиной 8 мм из стали С235;

1. Пролет балки настила $l_{\text{бн}} = 4,0\text{м}$;
2. Статическая схема – однопролетная шарнирноопертая;
3. Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$ [6];
4. Коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1$;
5. Материал балки – сталь С245 по ГОСТ 27772-88* по прил. 4 или
6. Группа конструкций 2, расчетная температура в предполагаемом районе строительства $t = -45^\circ\text{C}$; показатели по ударной вязкости и химическому составу согласно [6];
7. Расчетные характеристики стали по табл. [6]:

$$E = 2,06 \cdot 10^4 \text{ МПа}$$

$$R_y = 240 \text{ Н/мм}^2 \text{ при толщине проката от 2-х до 20 мм вкл.,}$$

$$R_{\text{тн}} = 370 \text{ Н/мм}^2,$$

$$R_s = 0,58 \cdot 240 = 139,2 \text{ Н/мм}^2,$$

$$R_p = 361 \text{ Н/мм}^2.$$

8. Предельный прогиб балки настила $f/l = 1/200$

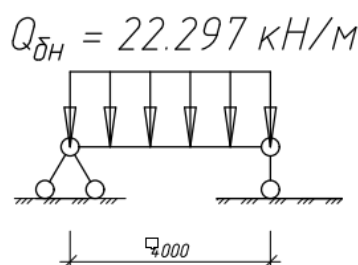


Рисунок 1 – Расчетная схема

Нормативная нагрузка на один погонный метр балки:

$$q_{\text{н.бн}} = (q_n + p_n + g_n) \cdot a = (11 + 1.5 + 0.616) \cdot 1.7 = 22.297 \text{ кН/м},$$

где $q_n = 11 \text{ кН/м}^2$ и $p_n = 1.5 \text{ кН/м}^2$ – соответственно временная (снеговая, ветровая и от других внешних воздействий) и постоянная нормативные нагрузки на балочную клетку (от установленного оборудования) [7];

$$g_n = m_n * 9.81 * 10^{-3} = 78.5 * 9.81 * 10^{-3} = 0.616 \text{ кН/м}^2$$

Вес 1 м^2 настила (здесь $m_n = 78.5 \text{ кг}$);

$a = 1,7 \text{ м}$ – шаг балок настила в пролете, балки настила опираются на главную балку a – расстояние между ними;

Расчетная погонная нагрузка на балку:

$$q_{\text{бн}} = (q_n \gamma_{f1} + p_n \gamma_{f2} + g_n \gamma_{f3}) * a = \\ = (11 * 1.2 + 1.5 * 1.1 + 1.05 * 0.616) * 1.7 = 26.6 \text{ кН/м}$$

где $\gamma_{f1} = 1,2$, $\gamma_{f2} = 1,1$, $\gamma_{f3} = 1,05$ – коэффициенты надежности по нагрузке. Соответственно для временной и постоянной нагрузок по заданию, и для нагрузки от собственного веса металлических конструкций [6].

Расчетный изгибающий момент равен:

$$M_{\text{max}} = \frac{ql^2}{8} = \frac{26.6 * 4^2}{8} = 53.2 \text{ кНм}$$

Требуемый момент сопротивления балки определяем по формуле, принимая $C_x = 1.1$:

$$W_{n.\text{треб}} = \frac{M}{C_x R_y \gamma_c} = 201.513 \text{ см}^3$$

Принимаем двутавр №20Б3:

$H = 208 \text{ мм}$; $b = 102 \text{ мм}$; $s = 80 \text{ мм}$; $t = 120 \text{ мм}$;

$I_x = 2852 \text{ см}^4$; $W_x = 274 \text{ см}^3$.

Проверяем подобранную балку настила на прогиб:

$$f = \frac{5}{384} \frac{q_n l^4}{EI} = \frac{5}{384} * \frac{26,6 * 400^4}{2,06 * 10^4 * 2852} = 1,51 \text{ см} < 2 \text{ см} \left(\frac{l}{200} \right)$$

Принятое сечение балки удовлетворяет условиям прочности и прогиба. Проверку касательных напряжений в прокатных балках при отсутствии ослаблений опорных сечений обычно не производится из-за относительно большой толщины стенок балок.

Общую устойчивость балок настила проверять не надо, поскольку их сжатые пояса надежно закреплены в горизонтальном направлении приваренным к ним настилом.

Проверка полученных результатов в ПК ЛИРА САПР.

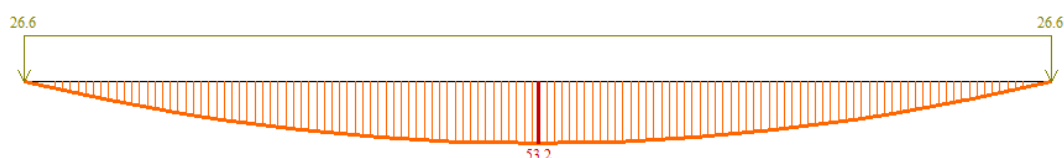


Рисунок 2 – Эпюра моментов от распределённой расчетной нагрузки $q_{\text{бн}}$

При данной расчетной схеме максимальный момент находится по центру нагруженной балки.

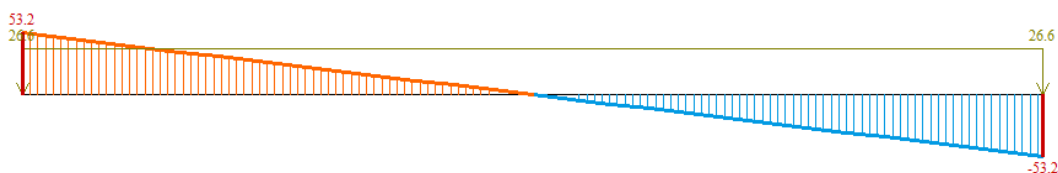


Рисунок 3 – Эпюра поперечных сил от распределённой расчетной нагрузки $q_{бн}$

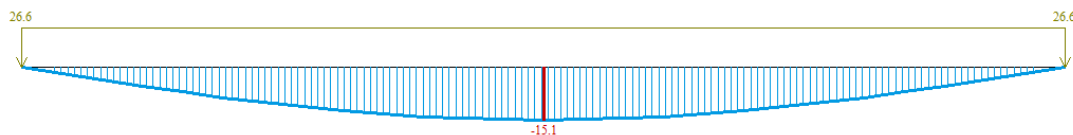


Рисунок 4 – Максимальный прогиб в заданном сечении от заданной нагрузки (в мм)

На рисунке 4 представлен максимальный прогиб, который совпадает с полученным ранее.

Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по усилиям (СП 16.13330.2011)

Рисунок 5 – Процент загрузки по предельным состояниям первой группы балки данного сечения и жесткости от заданной нагрузки $q_{бн}$

Рисунок 5 демонстрирует, что сечение балки использовано на 80% и способно воспринимать заданную нагрузку.

Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по усилиям (СП 16.13330.2011)

Рисунок 6 – Процент загрузки по предельным состояниям второй группы балки данного сечения и жесткости от заданной нагрузки $q_{бн}$

Рисунок 6 показывает, что прогибы и деформации не выходят за пределы допустимых значений. И балка использована по данному параметру на 75%.

Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по усилиям (СП 16.13330.2011)

21.6

Рисунок 7 – Процент использования несущей способности назначенного сечения по местной устойчивости от нагрузки q_{6H}

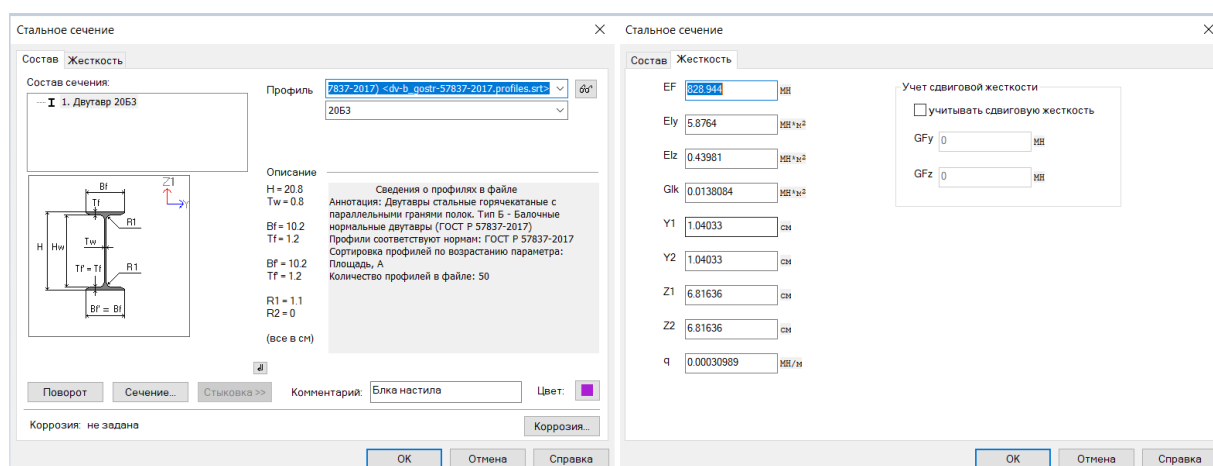


Рисунок 8 – Характеристики сечения, заданные в ЭВМ

4. Выводы

Был выполнен расчёт стальной шарнирно опёртой балки (материал сталь С245) двутаврового сечения, несущей стальной настил. Подобран, с использованием ГОСТ, профиль необходимого сечения. Произведена проверка полученных результатов в программе ЛИРА САПР. Результаты, полученные в программе, совпадают с расчётами по методу предельных состояний.

Библиографический список

1. Жеребцов А. В. Теплоизоляция цокольных и первых этажей: система ФАСАД PRO с эффективной теплоизоляцией ПЕНОПЛЭКС // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2016. № 5-6. С. 9-11.
2. Ермакова А. А., Уразов И. И. Необходимость расчета элементов стальных конструкций // Молодой ученый. 2020. № 10 (300). С. 120-123.
3. Исекенова Д. М., Колотвин А. В., Соловьёв К. Н. Моделирование и расчет

- ферменной металлоконструкции башенного крана в АРМ WINMACHINE для оптимизации элементов // Фундаментальные основы механики. 2016. №. 1. С. 124-126.
4. Гарипов А. И., Пяткин П. А. Методика расчета узлов стальных конструкций на сейсмическое воздействие // Вестник гражданских инженеров. 2020. №. 2. С. 51-59.
 5. Боровский Д. С. Расчет на прочность усиливаемых под нагрузкой стержневых элементов стальных конструкций при многопараметрическом нагружении // Вестник гражданских инженеров. 2021. №. 2. С. 36-41.
 6. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции.
 7. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.
 8. ГОСТ Р 57837-2017 Стальные двутавры.