

**Рец С.М., Григорьева Е.В. К вопросу проведения практического занятия по теме
«Изгиб прямого бруса»**

Рец Степан Михайлович

студент направления подготовки
«Электроэнергетика и электротехника»
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
РФ, г. Владивосток, stepanrec218@mail.ru

Григорьева Елена Владимировна

к.т.н., доцент кафедры «Холодильная техника
и инженерные системы»
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
РФ, г. Владивосток, lena_13042006@mail.ru

On the topic of conducting a practical lesson on the bending of a straight beam

Retz Stepan Mikhailovich

student of the specialty «Electric Power engineering
and electrical engineering»

Far Eastern State Technical Fisheries University
Russian Federation, Vladivostok, stepanrec218@mail.ru

Grigorieva Elena Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department
of Refrigeration Engineering and Engineering Systems
Far Eastern State Technical Fisheries University
Russian Federation, Vladivostok, lena_13042006@mail.ru

Аннотация. Статья выполнена на тему – «К вопросу проведения практического занятия по теме «Изгиб прямого бруса»». В данной статье рассматривается изгиб прямого бруса, который является одним из основных видов деформации в инженерной механике. В статье приводится решение практической задачи по данной теме. Изгиб возникает, когда на брус действуют внешние силы, вызывающие его изгибание. Целью данной работы является создание методической разработки практического занятия по теме «Изгиб прямого бруса». Актуальностью этой темы работы является создание практико-ориентированного материала, для проведения практических занятий по данной тематики. Практическая задача состоит из двух частей – расчетная и графическая. Целью графической части является построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Статья предназначена для студентов технических специальностей, инженеров и всех, кто интересуется вопросами прочности и устойчивости конструкций.

Ключевые слова: прямой изгиб, брус, сопротивление материалов, изгибающий момент, общетехнические дисциплины

Abstract. The article is based on the topic a practical lesson on the «Bending of a straight beam». This article discusses the bending of a straight beam, which is one of the main types of deformation in engineering mechanics. The article provides a solution to a practical problem related to this topic. Bending occurs when external forces act on a beam, causing it to bend. The purpose of this work is to create a methodological development for a practical lesson on the topic "Bending of a straight beam." The relevance of this topic lies in the creation of a practical-oriented material for conducting practical lessons on this subject. The practical task consists of two parts: the calculation part and the graphical part. The purpose of the graphical part is to construct diagrams of shear forces and bending moments. This article is intended for students of technical specialties, engineers, and anyone interested in the strength and stability of structures.

Key words: straight bending, timber, resistance of materials, bending moment, general technical disciplines

Введение

В предыдущей работе рассматривалось лекционное занятие по теме «Изгиб прямого бруса»[1]. Лекция это теоретический вид занятия. Для более глубокого изучения данной темы необходима наглядность изучаемого материала[2]. Наглядность заключается в проведении практических и лабораторных работ, которые подтверждает на практике изучаемую теорию на лекции. Практические занятия способны развить у курсанта или студента необходимое инженерное мышление, которое позволит изучать специальные дисциплины[3].

Тесная междисциплинарная связь между «Сопротивлением материалов» и «Теоретической механики»[4]-[7] обусловлена единой системой умений и знаний, объединенных в дисциплине «Техническая механика»[8],[9]. Сама учебная дисциплина «Сопротивление материалов» имеет практико-ориентируемую направленность, что обуславливается созданием различных машин, механизмов, сооружений и конструкций используя формулы этой дисциплины[10],[11].

Целью данной темы является разработка методики проведения практического занятия по теме «Изгиб прямого бруса». Актуальностью этой темы работы является создание практико-ориентированного материала, для проведения практических занятий по данной тематики.

Основные понятия практического занятия по теме «Изгиб прямого бруса»

При построении эпюр поперечных сил и изгибающих моментов рекомендуется следующий общий порядок действий:

1. Определить опорные реакции из уравнений статики. Правильность определения реакции часто проверяют путем составления дополнительного уравнения равновесия.

2. Разбить балку на участки, отделенные друг от друга либо действующими сосредоточенными нагрузками, либо парами сил, либо границами участков, на которых расположена равномерно распределенная нагрузка.

3. Построить эпюру поперечных сил, придерживаясь следующих правил:

а) на каждом участке взять произвольное сечение и определить для него поперечную силу, как алгебраическую сумму нагрузок, расположенных по одну сторону от сечения с соблюдением правила знаков для поперечной силы;

б) если на участке отсутствует распределенная нагрузка, то на этом участке поперечная сила постоянна и эпюра Q будет ограничена горизонтальной прямой линией;

в) если на данном участке имеется равномерно распределенная нагрузка, то следует обозначить через x расстояние произвольного сечения от одной из границ участка. Тогда в формулу поперечной силы войдет величина x в первой степени, и эпюра будет иметь вид прямой линии, наклоненной к оси балки. Концевые значения ординат эпюры определятся в зависимости от значений x ;

г) изгиб балки или отдельного ее участка, производимый равными моментами, направленными в противоположные стороны, называется чистым изгибом. В этом случае поперечные силы отсутствуют.

4. Построить эпюру изгибающих моментов:

а) если на данном участке отсутствует равномерно распределенная нагрузка, то эпюра изгибающих моментов ограничена прямой линией, наклоненной к оси балки, вытекает из первой теоремы Журавского;

действительно, поперечная сила в данном случае будет величиной постоянной, а изгибающий момент будет изменяться по линейному закону;

б) если на данном участке действует равномерно распределенная нагрузка, то эпюра изгибающих моментов будет ограничена кривой линией (параболой). Это также вытекает из теоремы Журавского; так как поперечная сила в данном случае будет выражаться формулой, содержащей x в первой степени, то изгибающий момент будет выражаться через x^2 . Для построения эпюры необходимо вычислить значения M для трех-четырех точек и концы ординат эпюры соединить плавной кривой линией;

в) если в каком-либо сечении на балку действует сосредоточенный момент, то на эпюре M получается скачок (на величину момента).

2 Решение практической задачи по теме «Изгиб прямого бруса»

Условием задачи является следующее. Необходимо построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов для балки, которая изображена на рисунке 1. Пусть $P=20\text{кН}$, $M=30\text{кНм}$ и $q=6\text{кН/м}$.

Если отбросить опоры, заменяя их действие на балку соответствующими реакциями, то можно определить опорные реакции:

$$\sum M_A = 0; -20000 \cdot 2 + 30000 + 6000 \cdot 6 \cdot 7 - R_B \cdot 10 = 0$$

откуда

$$R_B = \frac{-40000 + 30000 + 252000}{10} = \frac{242000}{10} = 24200 \text{ Н.}$$

$$\sum M_B = 0; -20000 \cdot 12 + R_A \cdot 10 + 3000 - 6000 \cdot 6 \cdot 3 = 0$$

откуда

$$R_A = \frac{240000 - 3 + 108000}{10} = \frac{318000}{10} = 31800 \text{ Н.}$$

Составляем сумму проекций всех внешних сил на ось y :

$$\sum y = 0; -20000 + R_A - 6000 \cdot 6 + R_B = 0$$

Следовательно, опорные реакции определены верно. Разделим балку на четыре участка I-IV.

Следующим этапом, необходимо вычислить значение поперечной силы в сечениях и на участках $Q_D = -20 \text{ кН}$. Поперечная сила на всем I участке имеет постоянное значение.

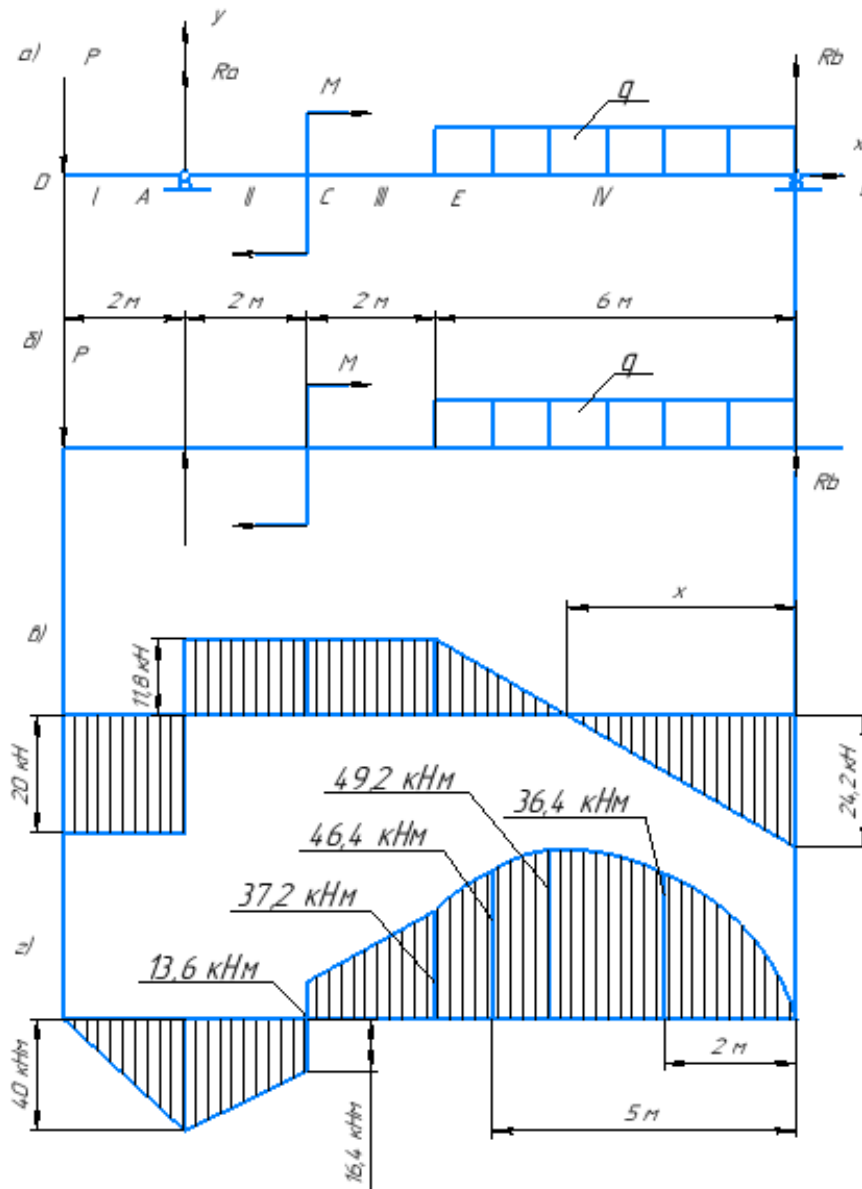


Рисунок 5 – Эпюры поперечных сил

Q_A (слева) $= -20 \text{ кН}$; Q_A (справа) $= -20 \text{ кН} + 31.8 \text{ кН} = 11.8 \text{ кН}$. В сечении C поперечная сила не изменяет своей величины, так как проекция пары сил на любую ось равна нулю, следовательно, на участках II и III поперечная сила будет равна Q_A (справа) $= 11.8 \text{ кН}$.

Для вычисления величины поперечной силы на IV участке следует взять произвольное сечение на расстоянии x от опоры В и придавать x различные значения.

Поперечная сила

$$Q_x = R_B + q \cdot x = -24200 + 6000 \cdot x$$

При $x=0$ имеем: $Q_B = -24,2$ кН,

при $x=6$ м имеем $Q_E = -24,2$ кН + 6кН/м · 6м = 11,8кН

Так как поперечная сила на данном участке выражается уравнением первой степени, то достаточно определить значения поперечной силы на границах участка и значение этих ординат соединить прямой линией.

Строим эпюру поперечных сил, откладывая положительные значения ординат вверх, а отрицательные вниз, в соответствии с рисунком 1в.

3. Определяем изгибающие моменты в сечениях:

$$M_A = -20\text{кН} \cdot 2\text{м} = -40\text{кН} \cdot \text{м}$$

$$\begin{aligned} M_C(\text{слева}) &= -20\text{кН} \cdot 4\text{м} + R_A \cdot 2\text{м} = -20\text{кН} \cdot 4\text{м} + 31,8\text{кН} \cdot 2\text{м} = \\ &= -80\text{кН} \cdot \text{м} + 63,6\text{кН} \cdot \text{м} = -16,4\text{кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_C(\text{справа}) &= -20\text{кН} \cdot 4\text{м} + R_A \cdot 2\text{м} + 30\text{кН} \cdot \text{м} = \\ &= -80\text{кН} \cdot \text{м} + 31,8\text{кН} \cdot 2\text{м} + 30\text{кН} \cdot \text{м} = 37,2\text{кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$M_E = 24,2\text{кН} \cdot 6\text{м} - \frac{6\text{кН}}{\text{м}} \cdot 2\text{м} = 145,2\text{кН} \cdot \text{м} - 10,8\text{кН} = 37,2\text{кН} \cdot \text{м}$$

Значение максимального изгибающего момента на участке ВЕ будет выражаться ординатой, соответствующей значению поперечной силы $Q_x=0$. Определим расстояние x от правой опоры до сечения, где изгибающий момент будет иметь максимальное значение. Для этого составим уравнение:

$$\sum y=0,$$

для сил, лежащих справа от точки О,

т. е.

$$R_B - q \cdot x = 0;$$

$$24,6\text{кН} - \frac{6\text{кН}}{\text{м}} \cdot x = 0$$

откуда

$$x = \frac{24,2\text{кН}}{6\text{кН/м}} = 4 \text{ м.}$$

Определяем величину максимального изгибающего момента

$$M_{\max(\text{BE})} = 24,2\text{кН} - 6\text{кН} \cdot 4\text{м} \cdot 2\text{м} = 97,2\text{кН} \cdot \text{м} - 48\text{кН} \cdot \text{м} = 49,2\text{кН} \cdot \text{м}$$

Так как на участке ВЕ эпюра изгибающих моментов ограничена параболой, то для более точного построения эпюры вычислим значения изгибающего момента еще для двух каких-либо сечений данного участка балки, например для $x_1=2$ м и $x_2=5$ м:

$$M_{x_1} = R_B \cdot x_1 - \frac{qx_1^2}{2} = 24,2\text{кН} \cdot 2 - \frac{6\text{кН} \cdot 2^2}{2} = 48,4 - 12 = 36,4 \text{ кНм};$$

$$M_{x_2} = R_B \cdot x_2 - \frac{qx_2^2}{2} = 24,2\text{кН} \cdot 5 - \frac{6\text{кН} \cdot 5^2}{2} = 121 - 75 = 46,4 \text{ кНм};$$

По значениям ординат M_x необходимо построить эпюру изгибающих моментов, согласно рисунок 1г. Опасное сечение балки будет находиться там, где поперечная сила переходит через нуль и меняет знак:

$$M_{\max} = 49,2\text{кНм.}$$

Заключение

Тема «Изгиб прямого бруса» имеет большое значение при подготовке будущего инженера механических и строительных специальностей. Проведение расчетов по определению нагрузок в балочных системах корпуса любого судна базируется на основах учебной дисциплины «Сопротивление материалов» и находит свое применение уже в рамках специальной дисциплины «Строительная механика корабля». Данная тема несет конкретно прикладной характер, что обусловлено наличием решения практической задачи по данной теме с построением эпюр поперечных сил и изгибающих моментов

Для углубления изучения данной темы, студентам необходимо еще решить порядка трех-пяти задач самостоятельно. Это позволит сформировать у обучающегося необходимое мышление для изучения следующей темы – «Косой изгиб».

Список литературы

1. Рец, С. М. К вопросу преподавания темы «Изгиб прямого бруса» / С. М. Рец, Е. В. Григорьева // Мир педагогики и психологии. – 2025. – № 11(112). – С. 332-338.
2. Крюков, А. А. Наглядность на занятиях по учебной дисциплине "Техническая механика" / А. А. Крюков, Д. Ю. Проскура // Актуальные проблемы развития судоходства и транспорта : Материалы Национальной научно-технической конференции с международным участием, Владивосток, 15–16 ноября 2023 года. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2023. – С. 94-98.
3. Крюков, А. А. Инженерное мышление как интегральный структурный компонент учебно-познавательной деятельности курсантов / А. А. Крюков // Социально-гуманитарные технологии. – 2024. – № 4(32). – С. 104-110.
4. Борисов, К. А. Особенности преподавания темы «Введение в статику» в процессе обучения учебной дисциплины «Теоретическая механика» / К. А. Борисов, А. А. Крюков // Наука XXI века: технологии, управление, безопасность: Материалы III Национальной научной конференции, Курган, 13 мая 2024 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2024. – С. 141-147.
5. Егоров, К. А. Обобщение опыта проведения занятий на тему «Плоская система сил» / К. А. Егоров, А. А. Крюков // Профессиональная ориентация. – 2024. – № 4-1. – С. 3-8.
6. Мизин, Д. А. Особенности преподавания темы «Связи и их реакции» в процессе обучения учебной дисциплины «Теоретическая механика» / Д. А. Мизин, А. А. Крюков // Наука XXI века: технологии, управление, безопасность: Материалы III Национальной научной конференции, Курган, 13 мая 2024 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2024. – С. 174-180.
7. Егоров, К. А. Обобщение опыта проведения занятий на тему «Динамика материальной точки» / К. А. Егоров, А. А. Крюков // Мир педагогики и психологии. – 2024. – № 10(99). – С. 245-250.
8. Крюков, А. А. Обобщение опыта преподавания учебной дисциплины «Техническая механика» в вузе / А. А. Крюков // Научно-практические вопросы регулирования рыболовства: Материалы Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 17–18 мая 2023 года. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2023. – С. 208-212.
9. Баклашов, Т. А. Обобщение опыта проведения занятий на тему «Основные понятия и определения сопротивления материалов» / Т. А. Баклашов, А. А. Крюков // Психология человека и общества. – 2024. – № 9(73). – С. 41-45.
10. Баклашов, Т. А. Обобщение опыта проведения занятий по темам «Растяжение и сжатие» / Т. А. Баклашов, А. А. Крюков // Мир педагогики и психологии. – 2024. – № 10(99). – С. 224-229.
11. Баклашов, Т. А. Проблема освоения тем "Сдвиг" и "Кручение" у курсантов мореходных специальностей / Т. А. Баклашов, А. А. Крюков // Актуальные проблемы развития судоходства и транспорта: Материалы III Национальной научно-технической конференции с международным участием, Владивосток, 20–21 ноября 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2024. – С. 73-79.