

внезапных (невидимых) структурных перестроек в ответственных конструкциях, моделируемых балками, взаимодействующими с упругим основанием, и их негативные последствия. Данная методика актуальна для решения существующих задач строительной механики и будет необходима для расчетов всевозможных модулей при освоении планет.

Список литературы

1 Поддубный, А. А. Методика расчета критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1(38). – С. 49–52.

УДК 539.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПРОГИБОВ И ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ В НЕОДНОРОДНОЙ БАЛКЕ, ЧАСТИЧНО ОПЕРТОЙ НА УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ, ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЕЕ ЗАКРЕПЛЕНИЯ

А. А. ПОДДУБНЫЙ, А. В. ЯРОВАЯ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Рассматривается трехслойный стержень длиной l и шириной b_0 ступенчато-переменного сечения под действием продольных и поперечных распределенных нагрузок и сосредоточенных сил и моментов (рисунок 1). Наружные слои являются несущими, они тонкие и выполнены из достаточно прочного материала. Менее прочный толстый наполнитель разносит несущие слои на заданное расстояние по высоте стержня и обеспечивает их совместную работу.

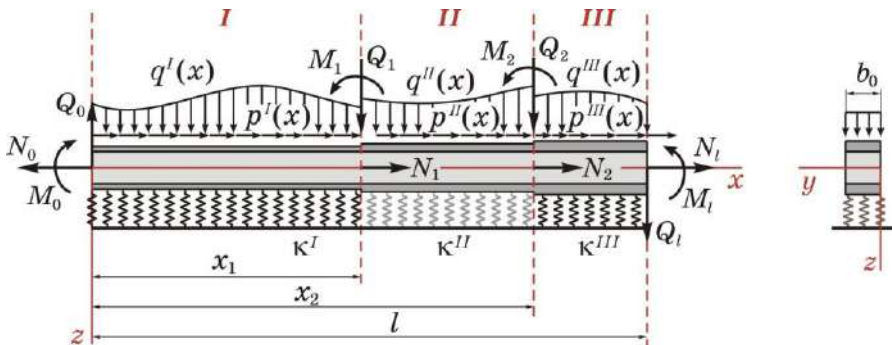


Рисунок 1 – Расчетная схема трехслойного стержня прямоугольного сечения

Система координат x, y, z связана со срединной плоскостью заполнителя. Несущий слой, расположенный со стороны положительного направления оси z , считается первым слоем, следующий несущий слой – вторым, а заполнитель – третьим слоем. Номер слоя обозначен индексом k ($k = 1, 2, 3$). Толщина k -го слоя h_k ; для заполнителя $h_3 = 2c$.

По длине стержня l выделяются три участка I ($0 \leq x \leq x_1$), II ($x_1 \leq x \leq x_2$), III ($x_2 \leq x \leq l$). Внешние распределенные нагрузки на каждом из участков могут иметь различные величины и закон изменения, а могут и отсутствовать. Индекс $n = I, II, III$ указывает, что нагрузки относятся к соответствующему участку: $p^n(x), q^n(x)$ [Па] – продольная и поперечная распределенные нагрузки на n -м участке.

На торцах стержня и в сечениях с координатами $x = x_1, x = x_2$ действуют сосредоточенные силы и моменты $N_0, Q_0, M_0; N_1, Q_1, M_1; N_2, Q_2, M_2; N_l, Q_l, M_l$.

Участки стержня опираются на упругое основание. Через k^n обозначен коэффициент жесткости упругого основания на n -м участке. Если на одном или двух участках основание отсутствует, то необходимо принять нулевым соответствующий коэффициент жесткости.

В работе [1] данная научная задача была решена, составлен комплекс программ в среде MathCad, с помощью которых получены числовые результаты для нескольких видов трехслойных пакетов при различных распределенных и сосредоточенных нагрузках, жесткости и длине участков опирания на упругое основание и условиях закрепления торцов.

Два участка, пакет «стеклопластик-пенополистирол-теклопластик»

Был рассмотрен трехслойный стержень длиной $l = 2$ м, шириной $b_0 = 0,2$ м с различными условиями закрепления торцов (рисунок 2). Несущие слои с толщинами $h_1 = h_2 = 0,015$ м (если не указано иначе) выполнены из строительного профильного стеклопластика СППС-240 ($E_x = 23000$ МПа; $E_y = 8500$ МПа; $\nu_{xy} = 0,09$; $\nu_{yx} = 0,23$), заполнитель толщиной $h_3 = 2c = 0,1$ м – из экструдированного пенополистирола плотностью $40\text{--}45$ кг/м³ ($E = 18$ МПа; $\nu = 0,46$).

Стержень, шарнирно закрепленный по двум торцам (рисунок 3).

Был исследован трехслойный стержень длиной $l = 2$ м, шириной $b_0 = 0,2$ м, закрепленный шарнирно по двум торцам, под действием поперечной нагрузки $q = 50$ кПа, равномерно распределенной по всей верхней поверхности. Левая половина стержня опирается на упругое основание с коэффициентом жесткости $k = 5$ МПа/м (если не указано иначе), соответствующим слежавшемуся песку, влажной глине или насыпному граввию. На торцах имеются жесткие диафрагмы. Получены результаты.

На рисунке 3 показано изменение изгибающего момента M (a) и момента сдвига H (b) вдоль оси стержня при жестком и шарнирном закреплении торцов.

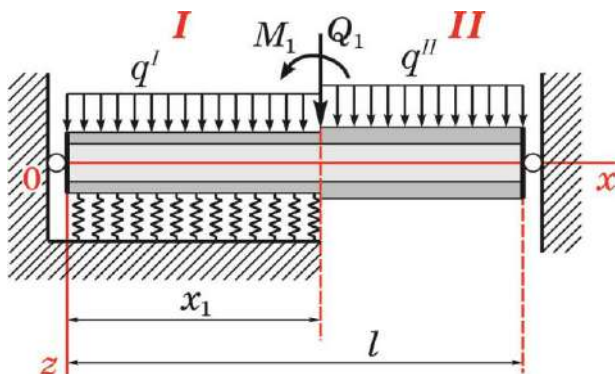


Рисунок 2 – Расчетная схема стержня с шарнирным закреплением торцов и жесткими диафрагмами

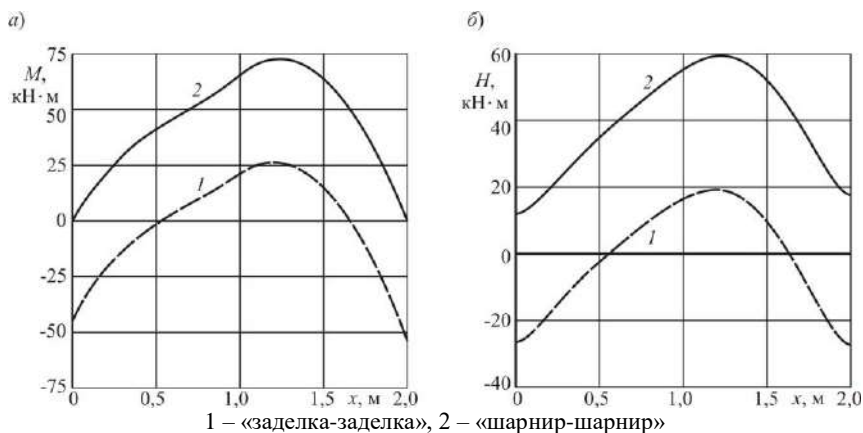


Рисунок 3 – Изменение изгибающего момента (а) и момента сдвига (б) по длине стержня при опирании его левой половины ($x_1 = 0,5 l$)

При шарнирном опирании оба момента значительно больше по величине, чем при жестком закреплении торцов: максимальный положительный момент M больше в 2,6 раза, момент H – в 3 раза. За счет работы жестких диафрагм на торцах и при шарнирном, и при жестком закреплении $H \neq 0$. При жестком закреплении торцов наибольшие положительные и отрицательные моменты отличаются в 2 раза. При этом распределение моментов более рациональное, что приводит к меньшим значениям перемещений и напряжений.

На рисунке 4 показано изменение прогиба, нормальных напряжений на нижней поверхности заполнителя и несущих слоев вдоль оси стержня при опи-

рании его левой половины ($x_1 = 0,5 l$), а также жестком и шарнирном закреплении торцов. При шарнирном опирании максимальный прогиб увеличивается на 15 % по сравнению с максимальным прогибом жестко закрепленного стержня. Графики напряжений для заполнителя и первого несущего слоя смещаются в положительную область, для второго слоя – в отрицательную, максимальные напряжения отличаются незначительно [2].

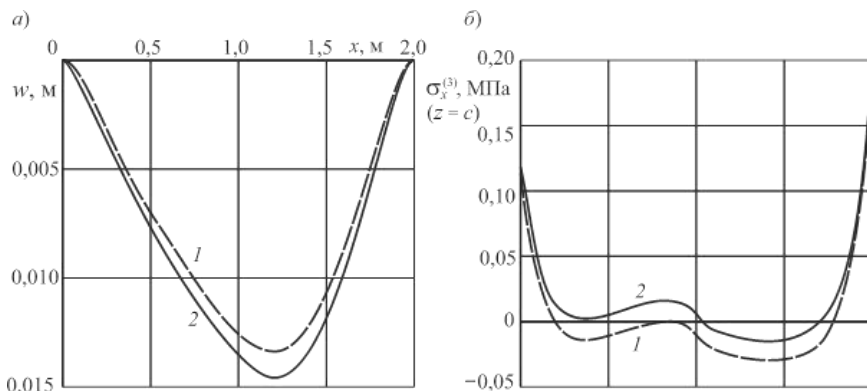


Рисунок 4 – Изменение прогиба (а) и нормальных напряжений на нижней поверхности заполнителя (б) по длине стержня при опирании его левой половины ($x_1 = 0,5 l$)

Вывод. Разработанная математическая модель позволяет при проектировании, расчете, эксплуатации и анализе аварий учесть различные изменения граничных условий закрепления конструкции и обоснованно определять запас прочности.

Список литературы

- 1 Яровая, А. В. Механико-математическая модель деформирования неупругой трехслойной балки, частично опертой на упругой основание / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Теоретическая и прикладная механика. – 2015. – № 30. – С. 256–262.
- 2 Яровая, А. В. Деформирование упругой трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, под действием равномерно распределенной нагрузки / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Теоретическая и прикладная механика. – 2016. – № 31. – С. 242–246.