

УДК 629.5.015.4

Б28, У72

Матрица жёсткости стержневого конечного элемента, лежащего на нелинейном упругом основании

Авторы: Батрак Ю. А., ЧП «Интеллектуальные морские технологии»,
Урсолов О. И., Национальный университет кораблестроения имени адм. Макарова.

Большинство современных программ расчета судовых валопроводов, в том числе и программный комплекс ShaftDesigner [1, 2], основаны на применении метода конечных элементов в стержневой идеализации. При этом подшипники моделируются либо точечными опорами, что для дейдвудных подшипников является весьма грубым приближением, либо жесткими цилиндрами, как это делается в ShaftDesigner, что лучше, но также не дает вполне корректных результатов, особенно с точки зрения оценки обеспечения надежной смазки.

Втулки современных судовых дейдвудных подшипников на водяной смазке изготавливаются из материалов с низким модулем упругости на сжатие (резина, полимерные материалы и др.). В связи с чем, естественным является представление подшипника упругим основанием (УО) конечной длины, что позволяет корректно учесть деформации втулки. Основная трудность такого подхода заключается в том, что жесткость упругого основания нелинейно зависит от просадки, т.е. переменна по длине конечного элемента (КЭ) и известные матрицы жесткости (МЖ) стержневого конечного элемента [3] не применимы. В связи с этим, с целью совершенствования программы ShaftDesigner, была поставлена задача вывода МЖ стержневого КЭ при параболическом законе изменения жесткости УО по длине элемента.

Общий подход к выводу МЖ КЭ описан в [3]. В [4] приведен пример вывода МЖ КЭ при нелинейном упругом основании.

В докладе излагается вывод МЖ стержневого КЭ, лежащего на УО с жёсткостью, переменной в пределах длины элемента, определяемой как суперпозиция трех МЖ (рис.1), соответствующих постоянной компоненте жесткости:

$$K_{const} = \frac{L \cdot k}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22L & 54 & -13L \\ 22L & 4L^2 & 13L & -3L^2 \\ 54 & 13L & 156 & -22L \\ -13L & -3L^2 & -22L & 4L^2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

линейно изменяющейся компоненте:

$$K_{liner} = \frac{L^2 \cdot tg \alpha}{840} \begin{bmatrix} 72 & 14L & 54 & -12L \\ 14L & 3L^2 & 14L & -3L^2 \\ 54 & 14L & 240 & -30L \\ -12L & -3L^2 & -30L & 5L^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

и параболической составляющей жёсткости:

$$K_{parabolic} = \frac{L \cdot \beta}{2520} \begin{bmatrix} 560 & 100L & 280 & -68L \\ 100L & 20L^2 & 68L & -16L^2 \\ 280 & 68L & 560 & -100L \\ -68L & -16L^2 & -100L & 20L^2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где L – длина конечного элемента, м;

k – постоянная составляющая коэффициента жёсткости УО, Н/м²;

$tg \alpha$ – угловой коэффициент линейной компоненты коэффициента жёсткости УО Н/м³;

β – параметр, характеризующий параболическую компоненту изменения жёсткости УО, Н/м².

С помощью указанных трёх МЖ становится возможным моделирование различных конфигураций жёсткости КЭ на УО.

В докладе приводятся результаты применения полученных МЖ в схеме расчёта валопровода, изгибающегося в вертикальной плоскости. Расчётная схема балки представлена на рис. 2. В данной расчётной схеме использовано 65 конечных элементов, 10 из которых моделируют упругую втулку подшипника. Ввиду нелинейности задачи расчет выполнялся методом последовательных приближений с учетом отрыва вала от поверхности вкладыша. Форма изгиба валопровода представлена на рис. 3.

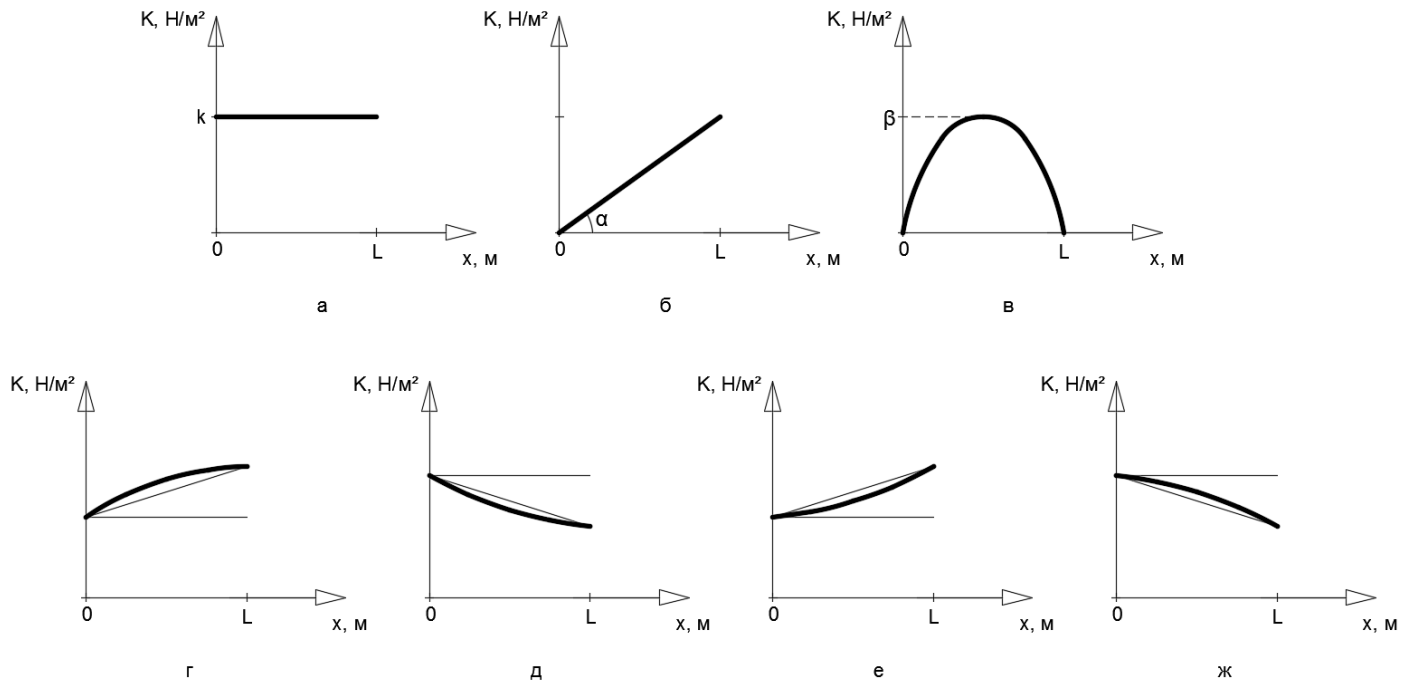


Рисунок 1 – зависимость коэффициента жёсткости по длине КЭ при: а – постоянной жёсткости; б – линейной зависимости; в – параболической зависимости; г, д, е, ж – суперпозиции трёх простых МЖ КЭ на УО.

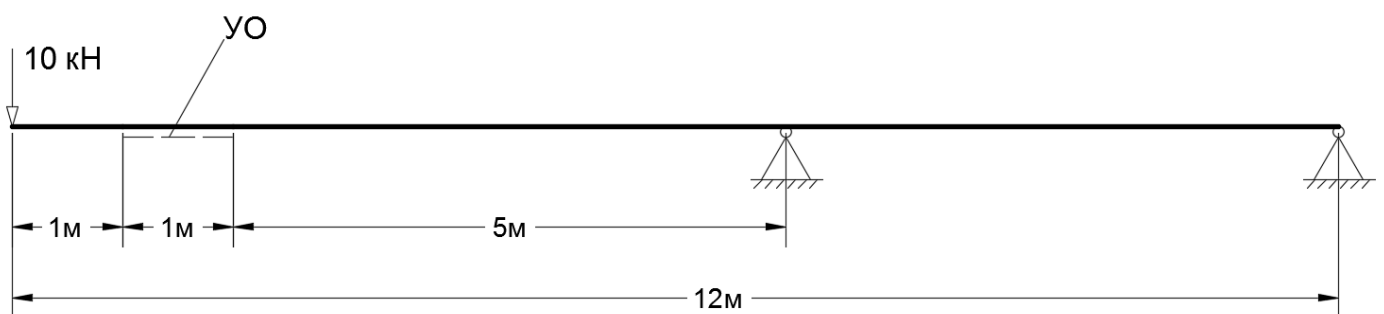


Рисунок 2 – расчётная схема валопровода

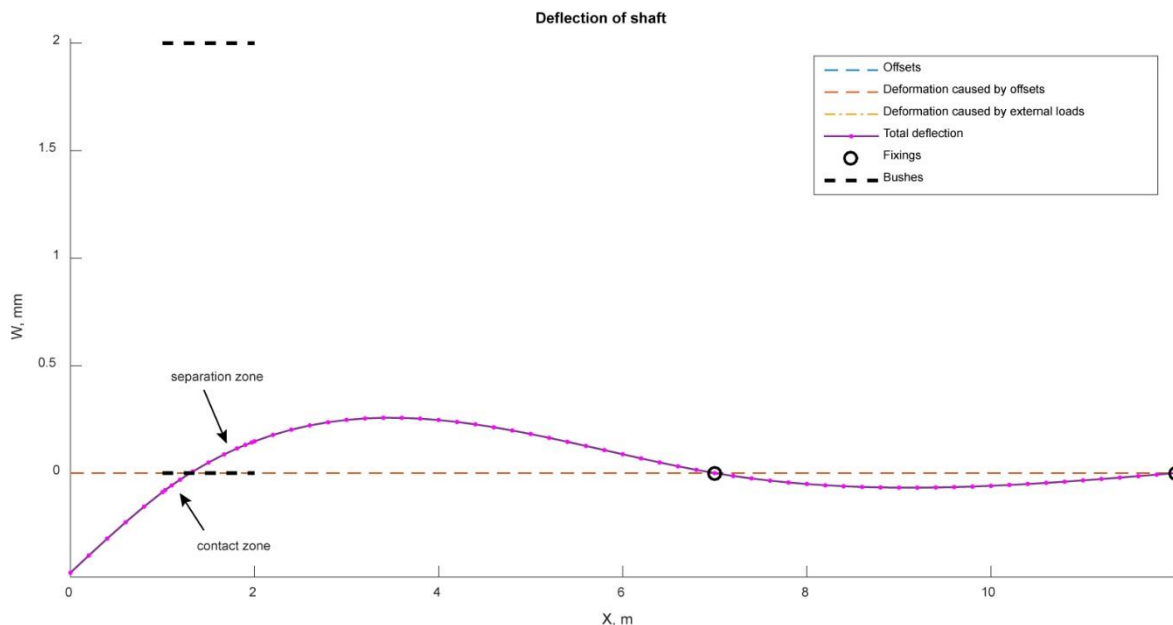


Рисунок 3 – форма изгиба валопровода при приложении
сосредоточенной силы на конце

Выводы. Полученные матрицы жёсткости более точно описывают нелинейный характер жёсткости упругого основания неметаллического подшипника скольжения. Применение полученных МЖ в алгоритме расчёта изгиба судового валопровода решает ряд проблем, связанных со сходимостью метода последовательных приближений. Кроме того, использование МЖ с параболическим изменением жёсткости по длине элемента позволяет отказаться от подробного деления втулки на элементы для получения той же точности, что и в случае элементов с постоянной жёсткостью упругого основания в пределах элемента.

Список использованной литературы

1. Batrak Y.A., van Leest M. High-end Software for Propulsion Shaft Calculation. SNAME Propellers/Shafting 2009 Symposium Papers, Williamsburg VA, pp. 11-1 – 11-4.
2. ShaftDesigner – The Shaft Calculation Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.shaftdesigner.com/>
3. Постнов В. А., Хархурим И. Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1974. – 342 с.

4. Веселов В.Н. Построение матрицы жёсткости рельсового пути башенного крана методом конечных элементов [Текст] / Веселов В.Н. // Вестник АГТУ – 2006. – № 1(30). – С.203 - 206.