

**УЧЕТ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ МАТЕРИАЛА
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СОСТАВНЫХ БАЛОК,
КОНТАКТИРУЮЩИХ С УПРУГИМ ОСНОВАНИЕМ**

О. В. КОЗУНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность проблемы. Из анализа научной литературы по расчету шарнирно-соединенных конструкций на упругом основании [1–5] можно сделать вывод об отсутствии общего подхода к решению этой проблемы, справедливого для шарнирно-соединенных балок и плит, лежащих на любой модели упругого основания под действием произвольной внешней нагрузки.

В данной работе предлагается универсальный подход для расчета составных (шарнирно-соединенных) балок на линейно-упругом основании с учетом физической нелинейности материала балок. Этот подход основан на смешанном методе строительной механики [6] и реализуется с учетом соотношений Жемочкина в разных основаниях для функций влияния упругой среды [7].

Постановка и алгоритм решения задачи в линейной постановке. Рассмотрим систему составных (шарнирно-соединенных) балок на упругом основании под действием внешней нагрузки (рисунок 1). Требуется определить распределение контактных напряжений под балками, усилия и осадки. Будем считать [8], что на контакте балки с основанием действуют только нормальные напряжения, для балок справедливы гипотезы теории изгиба, шарниры между балками являются цилиндрическими. Распределение контактных напряжений по ширине равномерное.

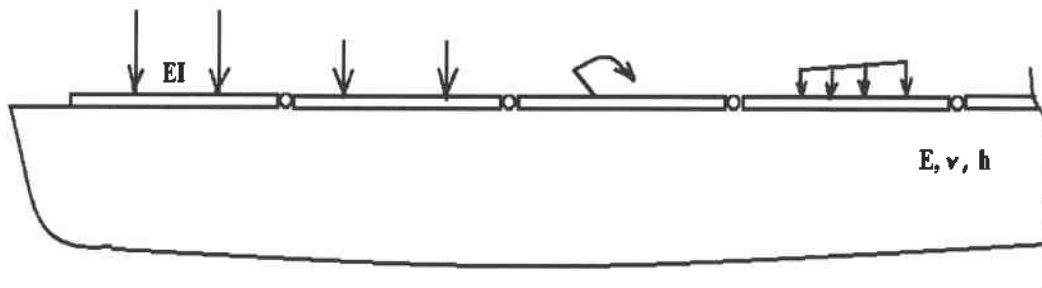


Рисунок 1 – Система составных балок на упругом основании

Разобьем каждую балку на участки равной длины и в центре каждого участка поставим вертикальную связь, через которую осуществляется контакт балки с упругим основанием. Полученную многократно статически неопределимую систему решаем смешанным методом строительной механики [6]. Основная система смешанного метода приведена на рисунке 2.

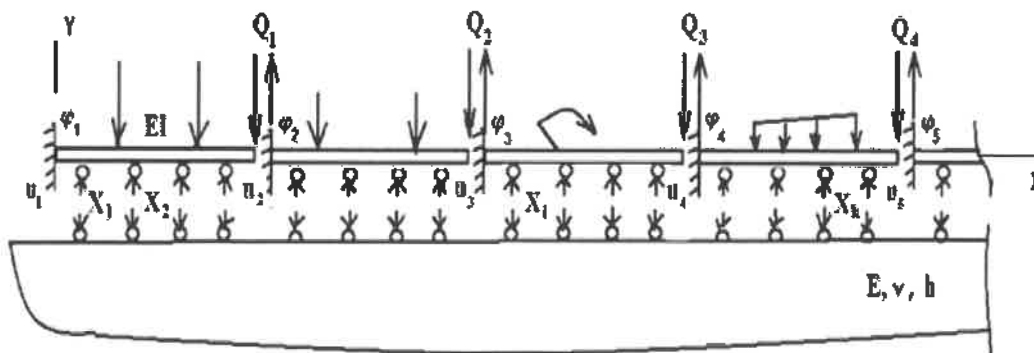


Рисунок 2 – Основная система смешанного метода

Коэффициенты при неизвестных системы канонических уравнений смешанного метода имеют следующий вид:

а) для основания Винклера соотношениями (1)

$$\delta_{i,k} = \frac{1}{Kbc} + \frac{\ell^3}{3EI} w_{i,k}, \quad i = k;$$
$$\delta_{i,k} = \frac{\ell^3}{3EI} w_{i,k}, \quad i \neq k,$$
(1)

где K – коэффициент постели упругого основания; EI – изгибная жесткость балки;

б) для упругого полупространства соотношением

$$\delta_{i,k} = \frac{1-\nu_0^2}{\pi E_0 c} F_{i,k} + \frac{\ell^3}{3EI} w_{i,k},$$
(2)

где безразмерная функция $F_{i,k}$ в формуле (2) определяется соотношениями [7].

Учет физической нелинейности материала балки. Алгоритм и результаты нелинейного расчета. После определения усилий в связях Жемочкина на контакте каждой балки с упругим основанием в результате линейного расчета определяются величины изгибающих моментов в каждом сечении каждой балки известными методами строительной механики [6]. По вычисленным значениям моментов определяется касательная жесткость для каждого участка Жемочкина на балках по формуле принятой зависимости «момент-кривизна» для сечений балки. В работе она принята в виде гиперболического тангенса [8].

В дальнейшем расчете определяются коэффициенты канонических уравнений как для балки переменной жесткости (первая итерация). Для этого используется представление интеграла Мора [7]. По вычисленным значениям перемещений снова решается система канонических уравнений и определяются новые значения усилий в связях Жемочкина. Для определения скорректированных величин жесткости на каждом участке Жемочкина повторяются вычисления по приведенному выше алгоритму. Итерационный процесс заканчивается при достижении требуемой точности вычислений метода конечных разностей.

Численная реализация предлагаемого подхода выполнена с использованием математического пакета Mathematica 10.4. Приведен пример расчета для семи шарнирно-соединенных балок на действие системы сосредоточенных сил на основании Винклера с учетом их физической нелинейности. Анализ численных результатов подтверждает известный факт, что при расчете железобетонных изгибаемых балок с учетом физической нелинейности прогибы балок растут, а усилия в ней уменьшаются. Хотелось бы отметить, что в одиночной балке на основании Винклера под действием равномерно распределенной нагрузки изгибающие моменты отсутствуют. В приведенном примере такого не наблюдается.

Список литературы

- 1 Корнев, Б. Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании / Б. Г. Корнев – М. : Стройиздат, 1954. – 127 с.
- 2 Попов, Г. Я. О расчете неограниченной шарнирно-разрезной балочной плиты, лежащей на упругом полупространстве / Г. Я. Попов // Изв. вузов, Строительство и архитектура. – № 3. – 1959. – С. 25–33.
- 3 Симвулиди, И. А. Составные балки на упругом основании / И. А. Симвулиди. – М. : Высш. шк., 1961. – 204 с.
- 4 Серебряный, Р. В. Расчет тонких шарнирно-соединенных плит на упругом основании / Р. В. Серебряный. – М. : Стройиздат, 1962. – 64 с.
- 5 Юр'ев, О. Г. Разрахунок шарнірно-з'єднаних балок на податливій основі із застосуванням інтегрального методу / О. Г. Юр'єв // Труды ХІВІ. – Вып. 29, т. VII. – 1963. – С. 44–55.
- 6 Ржаницин, А. Р. Строительная механика / А. Р. Ржаницин. – М. : Высш. шк., 1991. – 439 с.
- 7 Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Синицын. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.
- 8 Козунова, О. В. Применение МКР в нелинейных расчетах балок на однородном упругом слое / О. В. Козунова // Междунар. сб. науч. статей «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Ровно, Украина. – 2008. – Вып. 17. – С. 373–381.