

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ПОЛНОСТЬЮ ПОГРУЖЕННОЙ СВАИ КАК КОНСТРУКТИВНО НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

А. А. ПОДДУБНЫЙ¹, В. А. ГОРДОН²

¹*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

²*Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева,
Российская Федерация*

Простейшей и широко применяемой в различных расчетах моделью взаимодействия нагруженной деформируемой системы, опирающейся на упругое основание, является модель Винклера.

На рисунке 1 приведены примеры оснований, которые могут работать как модель Винклера и Пастернака.


а)	б)
Крупнообломочные  Валунный	Глинистые, пылеватые, илы  Супеси, суглинки
 Галечниковый (щебенистый)	 Глины
 Гравийный (дресвяный)	 Ил
Пески	Торф
 Гравелистый, крупный, средний, мелкий	

Рисунок 1 – Пример оснований:

а – модели Винклера (несвязные грунты); б – модели Пастернака (связные грунты)

При этом возможны такие примеры практических задач, когда конструкция может опираться на связные грунты (пример оснований модели Пастернака) и в случае внезапного изменения физико-механических свойств оснований грунты могут стать несвязными (пример оснований модели Винклера).

Основание Винклера рассматривается как множество независимых пружин, работающих на растяжение-сжатие, закрепленных на абсолютно жестком континууме. Недостаток пружинной (клавишной) модели Винклера состоит в том, что при сопротивлении нагрузкам в некоторой точке основания, в работу не вовлекаются соседние точки (пружины). Такая система справедлива лишь для оснований со слабой распределительной способностью (мягкие, рыхлые грунты и т. д.). Этот недостаток решается с помощью модели Пастернака (двухпараметрическое основание). Второй параметр (k_2), вводимый дополнительно к параметру Винклера (k_1), учитывает сдвиговые реакции основания.

В работе рассматривается задача по построению математической модели динамического процесса, возникающего в несущей статическую нагрузку балке, опирающейся на двухпараметрическое основание Пастернака при внезапном образовании дефекта основания, по длине контакта с балкой, заключающегося в утрате свойств основания сдвиговой жесткости, т. е. внезапном обнулении k_2 .

До появления дефекта напряженно-деформированное состояние всей конструкции определялось статическим воздействием. Внезапное образование дефекта приводит к снижению общей жесткости системы «балка-основание» и нарушению статического равновесия. Балка приходит в движение, в ходе которого перераспределяются и растут деформации и напряжения. В связи с возникающими динамическими догрузками возможны нарушения функционирования системы, потеря несущей способности и разрушения. В работе моделируется проявление конструктивной нелинейности системы «балка – основание».

Математическая модель процесса строится путем последовательного решения следующих задач.

1 Определяется статический прогиб и изгибающий момент в балке, опирающейся на упругое основание Пастернака в соответствии с граничными условиями, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой заданной интенсивности. Прогиб используется в дальнейшем как начальное условие динамического процесса (колебаний), возникающего после внезапного образования дефекта основания. Изгибающий момент используется для сравнения статических внутренних усилий в балке с динамическими в ходе колебаний.

2 Определяются частоты и формы собственных изгибных колебаний балки, опирающейся на упругое основание Винклера.

3 Исследуются вынужденные изгибные колебания нагруженной балки на основании Винклера путем разложения нагрузки и статического прогиба, полученного еще на основании Пастернака, по формам собственных колебаний балки на основании Винклера. Таким образом, расчет вынужденных колебаний строится методом модального разложения исходного состояния и нагрузки по методам нового состояния.

Для анализа перемещений и напряжений в балке при взаимодействии ее с упругим основанием во всех задачах используется метод начальных параметров в сочетании с векторно-матричным представлением состояния произвольных сечений балки.

В процессе работы были написаны математические модели и получены аналитические рекуррентные решения краевых задач, проведен численный параметрический анализ напряженно-деформированного состояния системы «балка – основание» и ее структурная перестройка, заключающаяся во внезапном преобразовании основания Пастернака в основание Винклера (утрате основания свойства сдвиговой жесткости).

Мгновенный переход основания Пастернака в основание Винклера приводит к радикальному преобразованию напряженно-деформированного состояния балки:

- изгибающие моменты во всех сечениях становятся знакопеременными;
- изменяется положение опасного сечения (для всех значений жесткостей опасным становится середина сечения);
- абсолютное значение изгибающих моментов значительно увеличивается, при этом большей жесткости системы «балка – основание» соответствует большее относительное приращение динамического изгибающего момента к статическому значению.

Полученные результаты исследования показывают существенные приращения напряжений и значительные изменения картины напряженно-деформированного состояния, вызванные внезапным изменением структуры и расчетной схемы рассмотренной модели «балка – основание».

Результаты математической модели состоят в том, что при проектировании, расчете, эксплуатации и анализе аварий следует учитывать возможность 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.