



УДК 624.151-025.13

© К. А. Паначёв, 2011

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Паначев К. А. – асп. кафедры «Здания и сооружения», тел. (4212) 40-75-29, e-mail: lab_zis@festu.khv.ru (ДВГУПС)

В известных методиках расчета конструкций на упругом основании такую конструкцию обычно рассматривают как балочную со всеми свойствами, характерными для балок. А именно уравнением упругой линии (оси) балки, по которой вычисляют внутренние усилия. Однако возможен и другой путь: используя условие равновесия системы. Внутренние усилия в конструкции рассчитывают как разность между усилиями от отпора основания и внешней нагрузкой, которые необходимо скорректировать введением коэффициента ω .

The known calculation techniques for structures mounted on the elastic base consider such a structure as beam structure characterized by the equation of the elastic beam axis. However, there is another way for calculation using the balance condition for the system. Internal forces in a structure are determined as a difference between forces from the base and an external load, which must be corrected by introduction of some coefficient.

Ключевые слова: конструкция, упругое основание, внутренние усилия, разгружающий эффект, коэффициент постели.

В практике проектирования обычно возникает много трудностей в оценке напряженного состояния конструкций на упругом основании. При работе балочной конструкции с точечным опиранием обычно возникают соответствующие опорные реакции и внутренние усилия в сечениях. Конструкции на упругом основании за счет сплошного контакта имеют со стороны основания распределенный реактивный отпор, уравнивающий внешнее воздействие и внутренние усилия.

При этом основание следует рассматривать не как пассивное ложе, а как составную часть системы «основание-конструкция». И такая система должна иметь на контакте одинаковые деформации (просадка основания и деформация конструкции). Эта постоянная связь составляющих системы вызывает особенности в ее расчете. За счет совместности работы конструкции и основания вместе с просадкой основания происходит и изгиб конструкции. Есте-

ственно, в ней возникают внутренние усилия (моменты и поперечные силы). При этом часть энергии изгиба затрачивается на смятие материала основания.

В известных методиках расчета конструкций на упругом основании такие конструкции обычно рассматривают как балочные со всеми свойствами, характерными для балок. Исследуя дифференциальное уравнение упругой

оси балки $EJ \frac{d^4 y}{dx^4} = q_x - p_x$, определяют внутренние усилия по известным приближенным формулам сопротивления материалов.

Простая на первый взгляд модель решений поставленной задачи на самом деле не позволяет получить общее решение, и в конечном результате сводится к частным задачам, зависящим от краевых условий. На этом принципе разработано много разных приемов расчета большой группой известных исследователей: И. А. Симвулиди, А. А. Стоценко, М. И. Горбунов-Посадов, Б. И. Жемочкин и др. Обзор этих работ приведен в монографии [1].

Однако возможна другая модель определения усилий в конструкциях на упругом основании: используя только основополагающее условие равновесия системы. Анализируя процесс деформации модели в виде системы «конструкция – упругое основание», можно отметить, что отпор со стороны основания действует на конструкцию по всей длине контакта и одновременно сминая материал основания. Так как на смятие тратится часть энергии, вызывающей изгиб конструкции, то естественно он уменьшается. Уменьшается и внутреннее усилие в ней. Эта отличительная особенность работы конструкций на упругом основании почему-то выпадала из поля зрения исследователей.

При этом всегда сохраняется условие равновесия системы «конструкция – упругое основание». Оказывается, что, приняв это условие в расчет системы, можно получить непосредственную связь между внешними воздействиями (нагрузкой и отпором) и внутренними искомыми усилиями в любом сечении конструкции.

Установить величину и положение внешних сил не представляет сложности. Отпор упругого основания зависит от гибкости системы «конструкция – упругое основание», понятие которой введено Н. М. Герсевановым:

$$\Gamma = 10 \frac{E_0 l^3}{E_1 h_1^3}, \text{ где } E_1 \text{ и } E_0 - \text{модуль деформации материала конструкции и}$$

основание; l и h – полудлина и высота сечения конструкции прямоугольного сечения.

Условно принято, что при $\Gamma = 0$ конструкция жесткая (штамп), при $\Gamma = 5$ – гибкая. Контактный отпор (напряжение) в зависимости от величины гибкости изменяется.

Например, на рис. 1, заимствованном из [2], показан характер их изменения при разных гибкостях Γ .

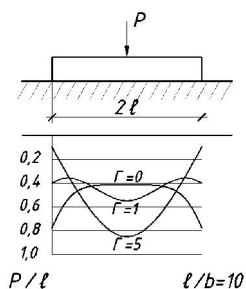


Рис. 1. Эпюры контактных давлений под конструкцией различной гибкости

В институте «Гидропроект» по методике расчета конструкций на упругом основании Б. М. Жемочкина в свое время были определены контактные отпоры (напряжения) для характерных гибкостей ($\Gamma = \infty$, $\Gamma = 10$, $\Gamma = 5$ и $\Gamma = 0$) [1, 2]. Если сравнить их со средним отпором на контакте, приняв его за единицу, то расчетные отпоры меняются в пределах 0,9–1,6 от среднего. При этом теоретические бесконечно-большие краевые отпоры, определяемые по теории упругости, как нереальные обычно не принимаются во внимание.

Учитывая то, что основание (если это грунт) характеризуется модулем деформации E_0 , точность определения которого не превышает $\pm 30\%$ от реального, можно с полной определенностью считать, что отпор в виде среднего давления вполне приемлем для инженерных расчетов. При случайных просадках основания под конструкцией следует отпор принимать по результатам моделирования таких процессов. Нами было проведено такое моделирование и получены формы и аналитические зависимости для отпоров [1].

При таких условиях внутренние усилия в сечениях конструкций справедливо определять на основе равновесия системы «конструкция – упругое основание». На рис. 2 показана схема воздействия всех силовых факторов, при которых отсеченная часть системы находится в равновесии, т. е.

$$\sum M = 0 \text{ и } \sum Q = 0.$$

Запишем эти условия для левой части системы:

$$\begin{aligned} M_{ai_{\text{внешн}}} - M_{ai_{\text{отпор}}} &= M_{ai_{\text{констр}}} ; \\ Q_{ai_{\text{внешн}}} - Q_{ai_{\text{отпор}}} &= Q_{ai_{\text{констр}}} \end{aligned}$$

При подсчете этих величин удобно жестко закрепить конструкцию в правом конце, т. е. сделать консоль с пролетом l , назначить ряд сечений $(0, 1, 2, \dots, n)$, для которых определить усилия M и Q . Накладывая усилия от отпора ($M_{\text{отпор}}, Q_{\text{отпор}}$) на усилия от внешней нагрузки ($M_{\text{внешн}}, Q_{\text{внешн}}$), получают разность усилий, которые и можно рассматривать как расчетные, возникающие в конструкции при опирании ее на упругое основание, учитывая разгружающий эффект основания.

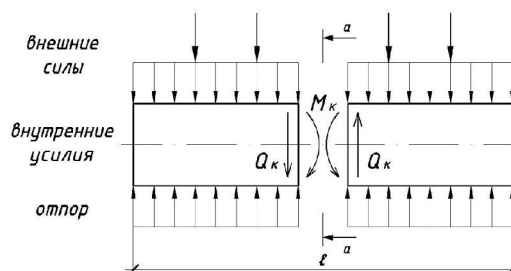


Рис. 2. Схема действия сил в сечении конструкции на упругом основании

Учет разгружающего эффекта производится умножением полученных усилий на коэффициент ω , т. к. при продавливании основания тратится часть энергии (работы) внешних сил и, соответственно, уменьшаются усилия в конструкции [3]:

$$\omega = \frac{1}{1 + f(EJ_{\text{констр}}, l, b)C}$$

Этот коэффициент обычно меньше единицы, в связи с этим полученное усилие соответственно уменьшится. По этому уменьшенному усилию и должна рассчитываться конструкция.

Анализируя формулу определения ω , можно отметить, что, чем жестче конструкция, тем меньше ω , а, следовательно, и расчетное усилие в конструкции. С другой стороны, если основание будет прочное, т. е. будет большая величина коэффициента постели C , то ω тоже уменьшится. При слабом основании (небольшом коэффициенте постели C) коэффициент ω увеличивается и стремится к единице. При таких основаниях усилия в конструкции будут наибольшими, разгружающее влияние основания проявляться не будет.

Предложенная методика расчета конструкций на упругом основании базируется на известных принципах равновесия системы «основание – конструкция», и позволяет оценить роль основания и конструкции, их физических характеристик при совместной работе, и осознано влиять на результаты при проектировании таких конструкций.

Библиографические ссылки

1. Григорьев П. Я. Проектирование конструкций на упругом основании: Моног. / Григорьев П. Я., Паначев К. А. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009.
2. Цитович Н. А. Механика грунтов (краткий курс): Учеб. для вузов. – 3-е изд. / Н. А. Цитович. – М.: Высшая школа, 1979.
3. Паначев К. А. Разгружающее действие упругого основания на лежащие на нем конструкции // Материалы Десятой международной научной конференции ИАС Тихоокеанского государственного университета «Новые идеи нового века». – Хабаровск, 2010.