

РАСЧЕТ БАЛОК-СТЕНОК МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Г.Дж. Адыракаева

Приводится методика расчета балок-стенок при действии вертикальных нагрузок. Результаты расчета весьма ценны для проектирования несущих систем многоэтажных зданий.

Ключевые слова: балка-стенка; здание; деформация; перемещение.

Пластины, наряду со стержневыми системами, являются одними из наиболее распространенных в технике конструктивных форм. Отличаясь высокой несущей способностью и индустриальностью в изготовлении и монтаже,

пластины выполняют также функции ограждающих конструкций.

В современных сооружениях пластины применяются в качестве фундаментов, перекрытий, покрытий, стен и перегородок. Панельные зда-

ния состоят целиком из сопряженных между собой пластин.

Пластины, балки-стенки, диски и мембраны являются весьма эффективными несущими конструкциями, поэтому статический и динамический расчет их имеет большое практическое значение. Трудность решения задачи состоит в том, что изучение прочности пластин сводится к интегрированию дифференциальных уравнений в частных производных.

Методы расчета пластин, основанные на уравнениях теории упругости, связаны со сложным математическим аппаратом и громоздкими вычислениями. Практика инженерного проектирования требует наличия готовых простых формул, позволяющих легко определять величины расчетных усилий и перемещений.

Работа [1] является попыткой создания практического руководства по расчету пластин. В ней приведены готовые формулы, графики и таблицы для расчета прочности, устойчивости и колебаний пластин, дисков, балок-стенок, мембран и пластинчатых систем различной конфигурации при определенных условиях опирания и при действии распределенных и сосредоточенных нагрузок. Большое место в руководстве отведено плоскому напряженному состоянию балок-стенок.

Так, в [1] плоская задача теории упругости для изотропной среды сводится к решению бигармонического уравнения относительно функции напряжений. Можно также использовать систему 2-х уравнений в частных производных относительно компонентов перемещений. Однако круг задач, решаемых точно весьма ограничен, поэтому во многих случаях приходится пользоваться приближенными методами. Наибольшее распространение получил метод конечных разностей [1].

Прямоугольные балки-стенки считаются хорошо исследованными объектами для упругой стадии работы при статическом нагружении. Для основных случаев их нагружения и условий опирания составлены подробные таблицы, в которых приведены значения напряжений δ_x , δ_y , τ_{xy} а также точек, лежащих выше величины прогибов вертикальных смещений v , точек, лежащих на вертикальной оси симметрии квадратной балки-стенки. Например, прогибы для балки-стенки, свободно-опертой концами нижней грани с равномерно распределенной нагрузкой по нижней и верхней грани приведены в табл. 1 и 2, с сосредоточенной нагрузкой – в табл. 3.

Однако в этих таблицах для перемещений балок-стенок содержится одна погрешность,

относящаяся к нескольким схемам нагружения и повторяющаяся во всех справочных изданиях [1, 2] о которой будет сказано ниже.

Область применения пластинчатых конструкций может быть расширена и их экономический эффект повышен при наличии простых и удобных методов статического и динамического расчета для обоснованного выбора оптимальных решений.

Метод сосредоточенных деформаций, являющийся разновидностью метода конечных элементов, также оказался удобным для расчета балок-стенок и других плоскостных конструкций. Идея метода состоит в следующем. Плоская система, в данном случае балка-стенка, разбивается на жесткие в своей плоскости элементы различных размеров, разделенных между собой швами, в которых сосредоточиваются деформации связей, а в некоторых случаях и собственные деформации соединяемых элементов.

Для сравнения результатов расчета по таблицам [1] и по методу сосредоточенных деформаций (МСД) был выполнен численный эксперимент. Рассмотрим эти перемещения. На рис. 1 показаны кривые вертикальных перемещений по оси симметрии той же балки. На рисунке видно, что прогибы, вычисленные по (МКЭ) и (МСД) практически совпадают, в то же время прогибы по данным табл. 3 существенно занижены, что не может быть объяснено погрешностями расчетного исследованного метода.

Причина в том, что перемещения, приведенные в [1, с. 195] относятся к расчетной схеме, приведенной на рис. 2а, а распространение их на расчетную схему на рис. 2б неправомерно.

Анализ показывает, что при такой неправомерной подмене расчетных схем прогибов, приведенных на рис. 1 а, б будет отличаться на величину “осадки” опор. В этом легко убедиться, если вычислить взаимные перемещения верхних и нижних точек по оси симметрии: эти взаимные смещения по всем трем расчетным методам практически одинаковы, т.е. балки-стенки во всех трех случаях деформируются практически одинаково. Следовательно, если кривую вертикальных перемещений по данным табл. 3 “сдвинуть” вправо (рис. 1) на величину “осадки” опор, как это имеет место в схеме на рис. 2 а, то все три кривые сольются.

Аналогичные результаты получены и для других схем нагружения балок-стенок (рис. 3–5).

Итак, при вычислении перемещений балок-стенок необходимо учитывать реальные условия их опирания. Пренебрежение этими требованиями

Таблица 1

Прогибы для балки-стенки

Точки (рис. 1б)	0	$\frac{H}{6}$	$\frac{H}{3}$	$\frac{H}{2}$	$\frac{2}{3}H$	$\frac{5}{6}H$	H
Перемещение $\frac{E}{ql} v$	0,144	0,153	0,183	0,244	0,346	0,486	0,806
$\frac{v}{f}$	0,97	1,03	1,24	1,65	1,34	3,29	4,11

Таблица 2

Прогибы для балки-стенки

Точки (рис. 1б)	0	1	2	3	4	5	6
Перемещение $\frac{E}{ql} v$	1,014	0,866	0,729	0,634	0,56	0,532	0,49
$\frac{v}{f}$	6,85	5,85	4,92	4,21	3,79	3,6	3,34

Таблица 3

Прогибы для балки-стенки

Точки (рис. 1б)	0	1	2	3	4	5	6
Перемещение $\frac{E}{ql} v$	0,907	0,965	1,006	1,123	1,365	2,052	2,135
$\frac{v}{f}$	3,63	3,86	4,02	4,49	5,45	8,2	8,54

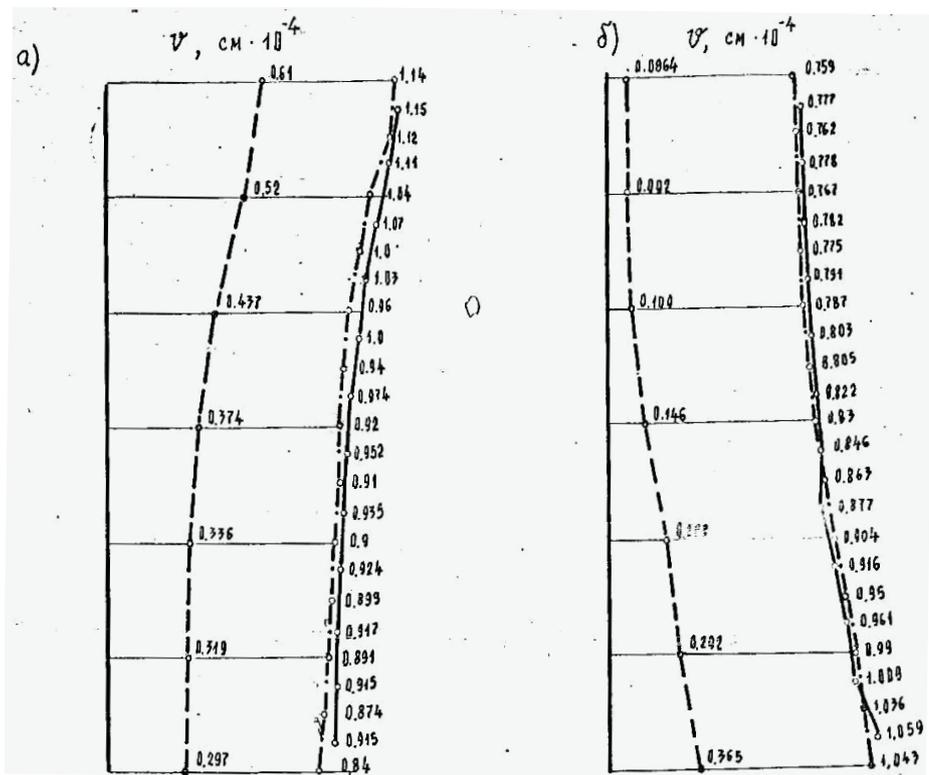


Рис. 1. Вертикальные перемещения точек, лежащих на вертикальной оси симметрии балки-стенки, опертой концами нижней грани, длиной $C = 0,11$ под действием равномерно распределенной нагрузки, приложенной: а – к верхней грани; б – к нижней грани.

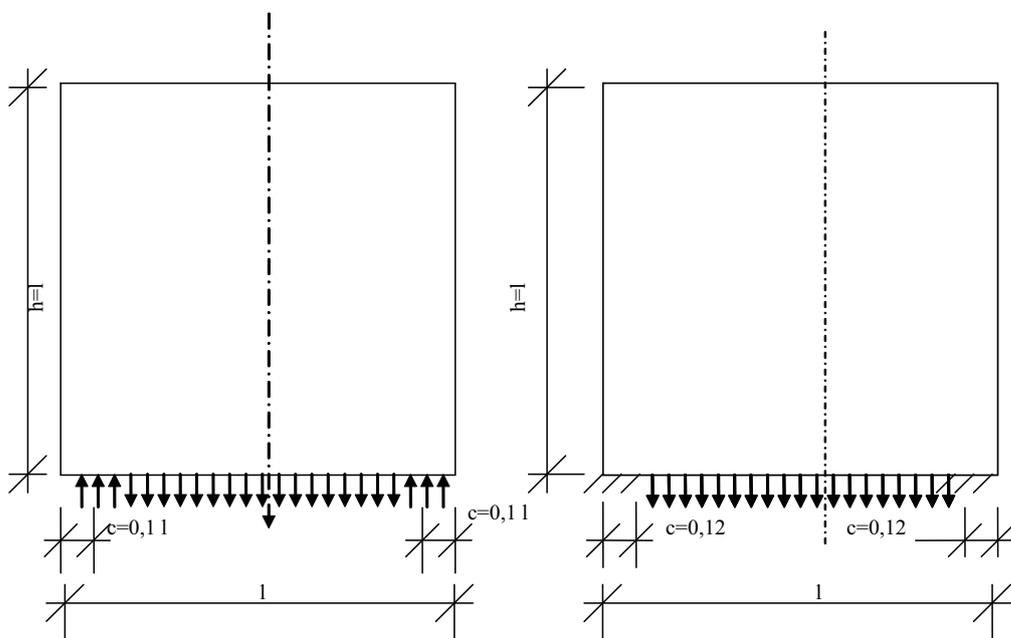


Рис. 2. Расчетные схемы балки стенки: а – согласно [3] б – согласно [4].

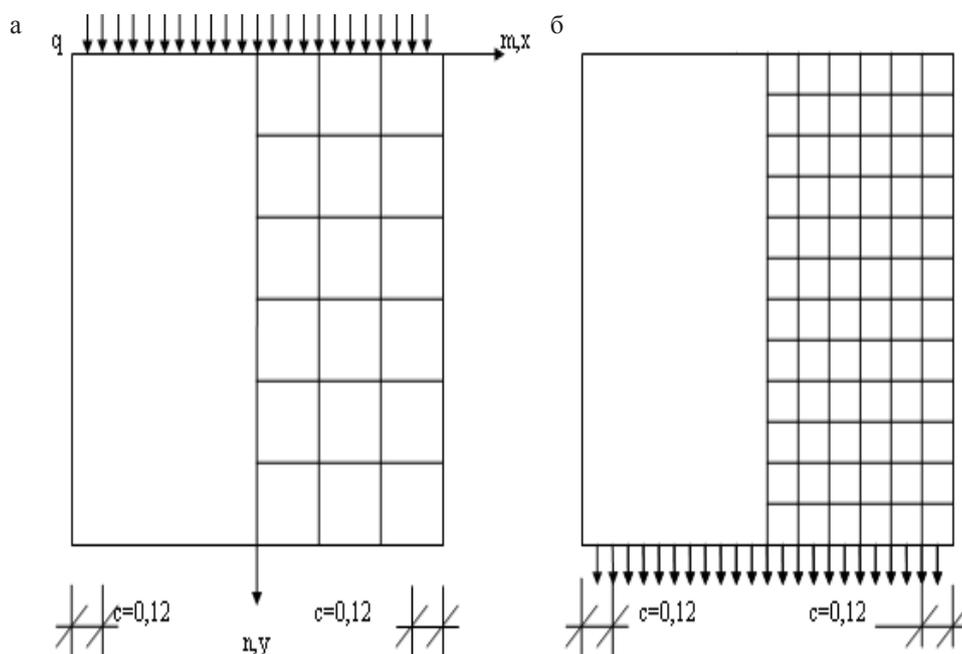


Рис. 3. Квадратная балка-стенка, опертая концами нижней грани длиной $C=0,11$, под действием нагрузки, приложенной: а – к нижней грани; б – к верхней.

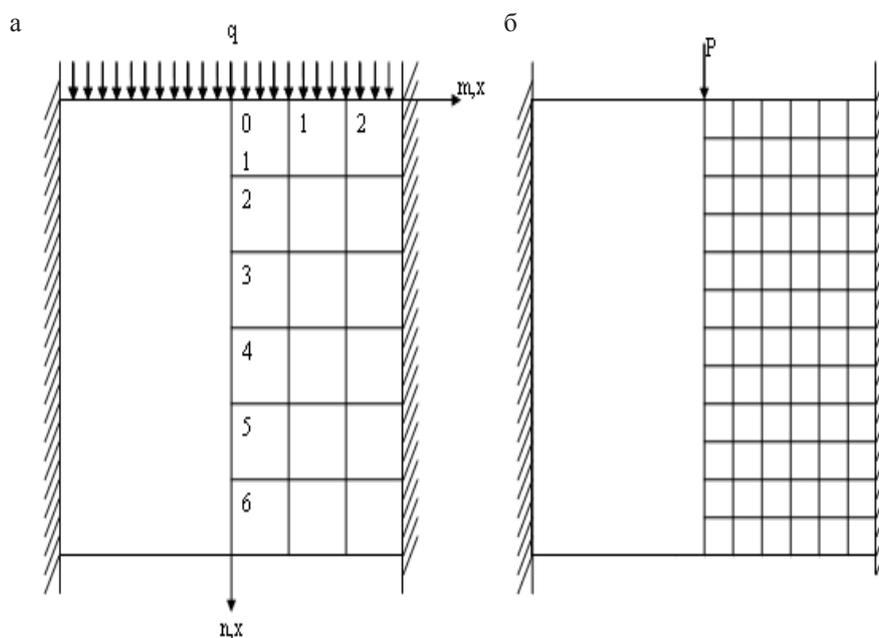


Рис. 4. Квадратная балка-стенка, жестко защемленная боковыми гранями под действием нагрузки, приложенной к верхней грани: а – равномерно распределенной; б – сосредоточенной.

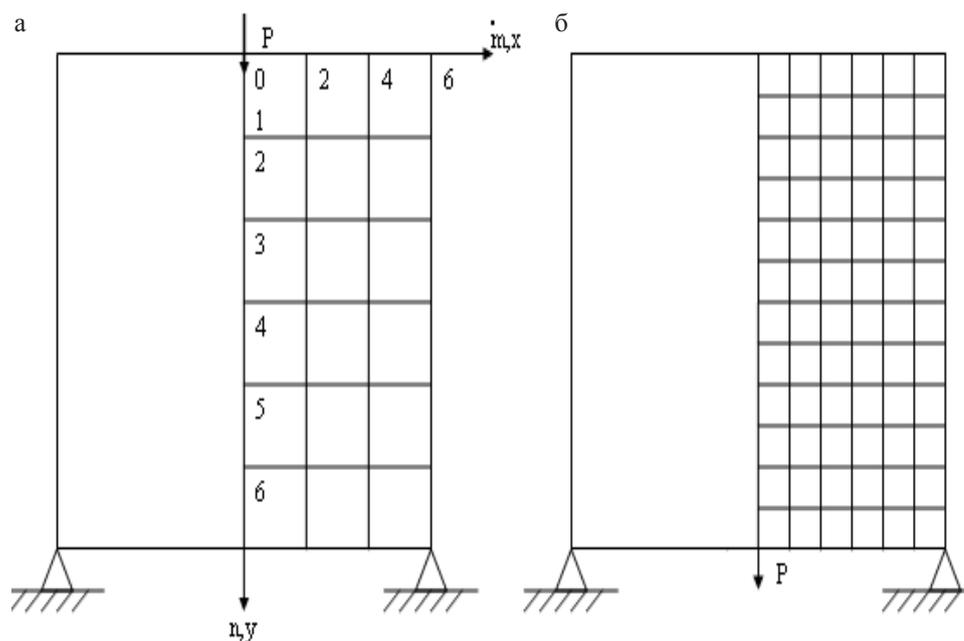


Рис. 5. Квадратная балка-стенка под действием сосредоточенной нагрузки, приложенной а – к верхней грани; б – к нижней грани.

ми вызывает погрешность в перемещениях на величину “осадки” опор, которые для балок-стенок соизмеримы с искомыми перемещениями.

Поскольку справочник [1] рассчитан на широкий круг пользователей, непременно следует отметить эту неточность при определении перемещений. Иногда применение таблиц вызывают некоторые неудобства. Например, рассмотрим рис. 5, ([3, с. 198]. На рисунке показана балка-стенка, опертая крайними точками, нагруженная сосредоточенной силой. В табл. 3. [3] приведены величины вертикальных перемещений точек v , лежащих на вертикальной оси симметрии. Для

построения кривой прогибов приходится переворачивать таблицу, что крайне неудобно.

Литература

1. Вайнберг Д.В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. – Киев: Будивельник, 1973. – С. 488.
2. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Пластины, диски, балки-стенки. – Киев, 1959. – С. 677–691.
3. Справочник проектировщика промышленных жилых и общественных зданий и сооружений / Под ред. А.А. Уманского. Кн. 2. – М.: Стройиздат, 1973. – С. 414.