

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ,
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
ГВУЗ "ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ"**

**СТРОИТЕЛЬСТВО, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,
МАШИНОСТРОЕНИЕ**

Сборник научных трудов

**Под общей редакцией доктора технических наук
профессора В.И. Большакова**

**При поддержке главного управления образования и науки областной
государственной администрации**

Выпуск 61

*Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-
гражданского, промышленного и транспортного назначения*

Днепропетровск
2011

ББК 30.3
С86
УДК 624(0)

*Печатается по решению Ученого совета ГВУЗ "Приднепровская
государственная академия строительства и архитектуры"*

Протокол № 1 от 31 августа 2011г.

Согласно постановления Президиума ВАК Украины от 14.10.2009 г. за №1-05/4 сборник научных трудов входит в перечень № 1 «научных фахових видань України», в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов.
Вып. 61, -Дн-вск, ПГАСА, 2011. – 548 с. (в обл.).

В сборник вошли статьи, освещающие актуальные вопросы диагностики и оценки технического состояния, прогноза долговечности и надежности, ремонта и восстановления конструкций зданий и сооружений жилищно-коммунального, промышленного и транспортного строительства.

Редакционная коллегия:

докт. техн. наук	В.И. Большаков (главный редактор)		
докт. техн. наук	Н.В. Савицкий (первый зам. гл. редактора)		
докт. техн. наук	А.Н. Бамбура		
докт. техн. наук	Р.А. Веселовский	докт. техн. наук	В.Ф. Мушанов
докт. техн. наук	Д.Ф. Гончаренко	докт. техн. наук	К.А. Пирадов
докт. техн. наук	В.С. Дорофеев	докт. техн. наук	С.Ф. Пичугин
докт. техн. наук	П.П. Лизунов	докт. техн. наук	А.Н. Пшинько
докт. техн. наук	В.С. Лесовик	докт. техн. наук	Р.Ф. Рунова
докт. техн. наук	И.И. Лучко	докт. техн. наук	А.В. Русинов
докт. техн. наук	Г.А. Молодченко	докт. техн. наук	С.И. Федоркин
докт. техн. наук	В.М. Кирнос	докт. техн. наук	В.Т. Шаленный
докт. техн. наук	Л.И. Стороженко	докт. техн. наук	А.М. Ливинский
докт. техн. наук	Е.А. Егоров	докт. техн. наук	В.Л. Седин

Под общей редакцией д.т.н. профессора Большакова В.И.

Ответственный за выпуск Юрченко Е.Л.

Свидетельство (серия ДК № 8986) о внесении Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры как субъекта издательского дела в Государственный реестр издателей и распространителей издательской продукции.

© ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", 2011

УДК 69.032.2

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МОНОЛИТНЫХ ДИАФРАГМ ЖЕСТКОСТИ

*д.т.н., проф. Молодченко Г.А., доц. Засядько Н.А., Сироменко А.Н.
Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков*

Рассматривается напряженно-деформированное состояние железобетонных диафрагм в многоэтажном монолитном доме с использованием расчетной схемы составного стержня. Плоские диафрагмы, на которые разбивается несущая система здания, в свою очередь, представлены как системы консольных вертикальных столбов, соединенных между собой по высоте непрерывными связями. Связями между столбами служат вертикальные стыковые соединения панелей, перемычки над проемами и перекрытия. Ряд столбов, соединенных между собой связями конечной жесткости или абсолютно жесткими образует несущий расчетный элемент, который может иметь прямоугольную или непрямоугольную форму сечения в плане. Несущая система здания регулярна в вертикальном направлении, т. е. высота всех этажей одинакова, проемы в стенах расположены друг над другом, геометрические и жесткостные параметры конструкций и стыков не изменяемы по высоте здания.

Анализ проводим на примере здания жилого дома в г.Харькове при воздействии поперечных равномерно распределенной нагрузки q по всей длине элемента (тождественной ветровой нагрузке) и сосредоточенной на конце консоли P (от горизонтальной нагрузки от вышележащих этажей). Также на конце действует продольная сила N (соответствующая собственному весу, с учетом вышерасположенных этажей). На момент ввода здания в эксплуатацию в диафрагмах уже сформированы трещины, а то, что они возникли от усадочных деформаций, подтверждает их вертикальная направленность.

Для оценки факторов, влияющих на жесткость здания, определим дифференцировано степень воздействия равномерно распределенной нагрузки q и силы P при одновременном действии их с продольной силой N . Выражение для перемещения (y) крайнего свободного конца консоли в пределах одного этажа получено для каждого из случаев, а для обобщения напряженно-деформированного состояния было произведено их суммирование. Принятое раздельное решение задачи для перемещений обусловлено спецификой процесса трещинообразования в диафрагмах, вызванное особенностями технологии возведения и дальнейшей эксплуатации самого здания.

Таким образом, при загрузке поперечной и продольной сосредоточенными силами на конце консоли имеем следующий алгоритм решения.

Дифференциальное уравнение четвертого порядка для изогнутого стержня [1,2,3]:

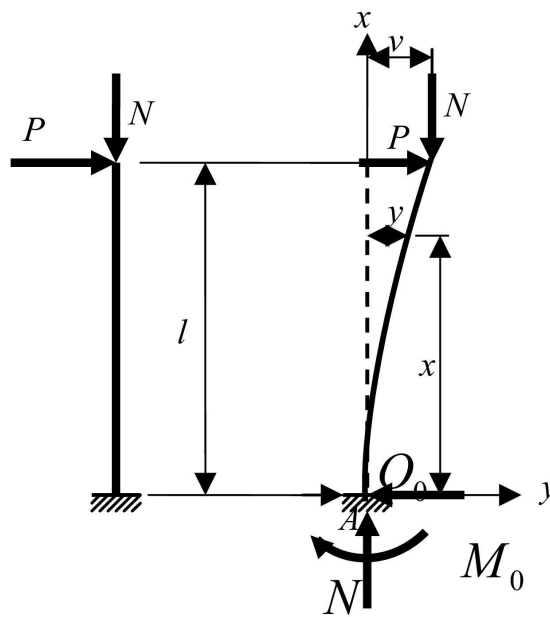


Рис.1. Расчетная схема диафрагмы (1 случай)

$$EI y'''' + N y'' = q \quad (1)$$

При отсутствии распределенной нагрузки получаем однородное уравнение:

$$EI y'''' + N y'' = 0. \quad (2)$$

Решение уравнения (2) при введении обозначения

$$k = \sqrt{\frac{N}{EI}} \quad (3)$$

имеет вид:

$$y = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + C_3 x + C_4. \quad (4)$$

Производные перемещения:

$$y' = C_1 k \cos kx - C_2 k \sin kx + C_3, \quad (5)$$

$$y'' = -C_1 k^2 \sin kx - C_2 k^2 \cos kx, \quad (6)$$

$$y''' = -C_1 k^3 \cos kx + C_2 k^3 \sin kx. \quad (7)$$

При $x = 0$ получаем:

$$y_0 = C_2 + C_4; \quad y'_0 = C_1 k + C_3;$$

$$y''_0 = -C_2 k^2; \quad y'''_0 = -C_1 k^3.$$

Отсюда выражаем постоянные интегрирования через начальные параметры:

$$C_1 = -\frac{y'''_0}{k^3}; \quad C_2 = -\frac{y''_0}{k^2}; \quad C_3 = y'_0 + \frac{y'_0}{k^2}; \quad C_4 = y_0 + \frac{y''_0}{k^2}.$$

Принимая в качестве начальных параметров физические величины: y_0 , $\theta_0 = y'_0$, $M_0 = -EI y''_0$, $Q_0 = -EI y'''_0$ - соответственно прогиб, угол поворота сечения, изгибающий момент и поперечную силу в начале координат, с учетом обозначения (2) получаем:

$$C_1 = \frac{Q_0}{k^3 EI} = \frac{Q_0}{k N}; \quad C_2 = \frac{M_0}{k^2 EI} = \frac{M_0}{N}; \quad (8)$$

$$C_3 = \theta_0 - \frac{Q_0}{k^2 EI} = \theta_0 - \frac{Q_0}{N}; \quad C_4 = y_0 - \frac{M_0}{k^2 EI} = y_0 - \frac{M_0}{N}.$$

Подставляя (8) в (4)...(7), после преобразований получаем:

$$y = y_0 + \theta_0 x - \frac{M_0}{N} (1 - \cos kx) - \frac{Q_0}{kN} (kx - \sin kx);$$

$$\theta = \theta_0 - \frac{M_0}{N} k \sin kx - \frac{Q_0}{N} (1 - \cos kx); \quad (9)$$

$$M = M_0 \cos kx + Q_0 \frac{\sin kx}{k};$$

$$Q = -M_0 k \sin kx + Q_0 \cos kx.$$

Обычно вместо поперечной силы Q , направленной по нормали к изогнутой оси, условно принимают силу

$$\bar{Q} = Q - N y', \quad (10)$$

направленную по нормали к оси в недеформированном состоянии (рис.2).

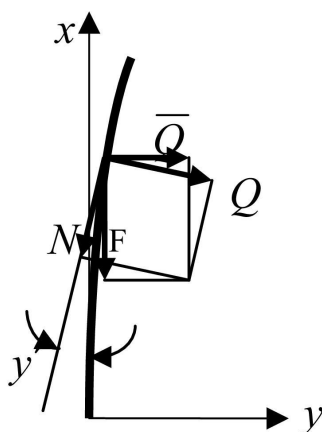


Рис.2. К определению \bar{Q}

Она представляет собой горизонтальную проекцию равнодействующей продольной N и поперечной Q сил в сечении изогнутого стержня, записанную с учетом малости деформаций.

Из (10) следует:

$$\bar{Q} = -EI y''' - N y' \quad (10,a)$$

и

$$\bar{Q}_0 = -EI y_0''' - N y_0' = Q_0 - N \theta_0. \quad (10,6)$$

С учетом (10,6) (9) принимает такой вид:

$$y = y_0 + \theta_0 \frac{\sin kx}{k} - \frac{M_0}{N} (1 - \cos kx) - \frac{\bar{Q}_0}{kN} (kx - \sin kx);$$

$$\theta = \theta_0 \cos kx - \frac{M_0}{N} k \sin kx - \frac{\bar{Q}_0}{N} (1 - \cos kx); \quad (11)$$

$$M = \theta_0 kEI \sin kx + M_0 \cos kx + \bar{Q}_0 \frac{\sin kx}{k};$$

$$\bar{Q} = M' - N\theta = \bar{Q}_0.$$

Для данной задачи при $x = 0$ имеем $y_0 = 0$, $\theta_0 = 0$, $\bar{Q}_0 = P = q \cdot \ell$.

При $x = l$ изгибающий момент $M = 0$. Тогда из третьей формулы (11) следует:

$$M_0 \cos kl + \bar{Q}_0 \frac{\sin kl}{k} = 0,$$

откуда

$$M_0 = -\bar{Q}_0 \frac{\operatorname{tg} kl}{k}. \quad (12)$$

С учетом найденных начальных параметров уравнение прогибов в (11) принимает после преобразований такой вид:

$$y = -\frac{M_0}{N} (1 - \cos kx) - \frac{\bar{Q}_0}{kN} (kx - \sin kx). \quad (13)$$

Для графического представления полученного результата зададимся предложенной ранее [4] схемой и данными.

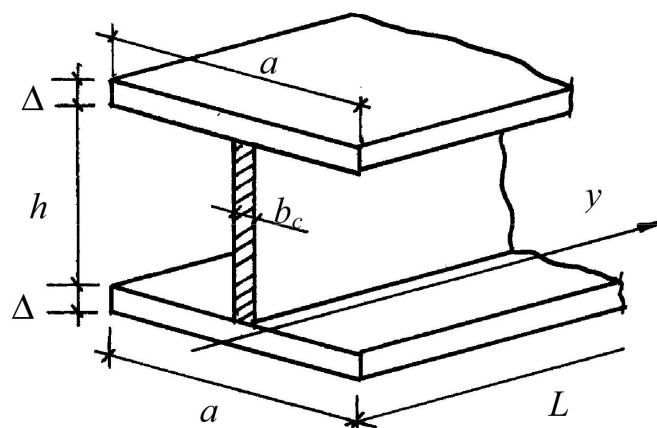


Рис. 3. Схема рассматриваемого элемента

Элемент системы (рис.3), состоящий из поперечной стены в пределах нижнего этажа высотой $h=2,7\text{м}$ и толщиной $b_c=0,16\text{м}$, совместно работающий

в продольном направлении y с двумя перекрытиями шириной $a=4,35\text{м}$ (расстояние между двумя поперечными стенами) и толщиной $\Delta=0,16\text{м}$.

Вес этажа N принимаем в осях перекрытий:

$N = (h \cdot b_c + a \cdot \Delta) \cdot L \cdot \rho = 203,04 \text{ кН}$, где $\rho = 25 \text{ кН/м}^3$ – плотность железобетона.

$G = 0,425 \cdot E = 1,169 \cdot 10^7 \text{ кН/м}^2$, где $E = 2,75 \cdot 10^7 \text{ кН/м}^2$;

$A = b_c \cdot L = 1,152 \text{ м}^2$;

$q = 1,1 \text{ кН/м}$.

Выполняя вычисления, получаем прогиб на конце $y=1,79 \cdot 10^{-7}\text{м}$, а также в промежуточных точках с шагом $0,3\text{м}$ (рис. 4.).

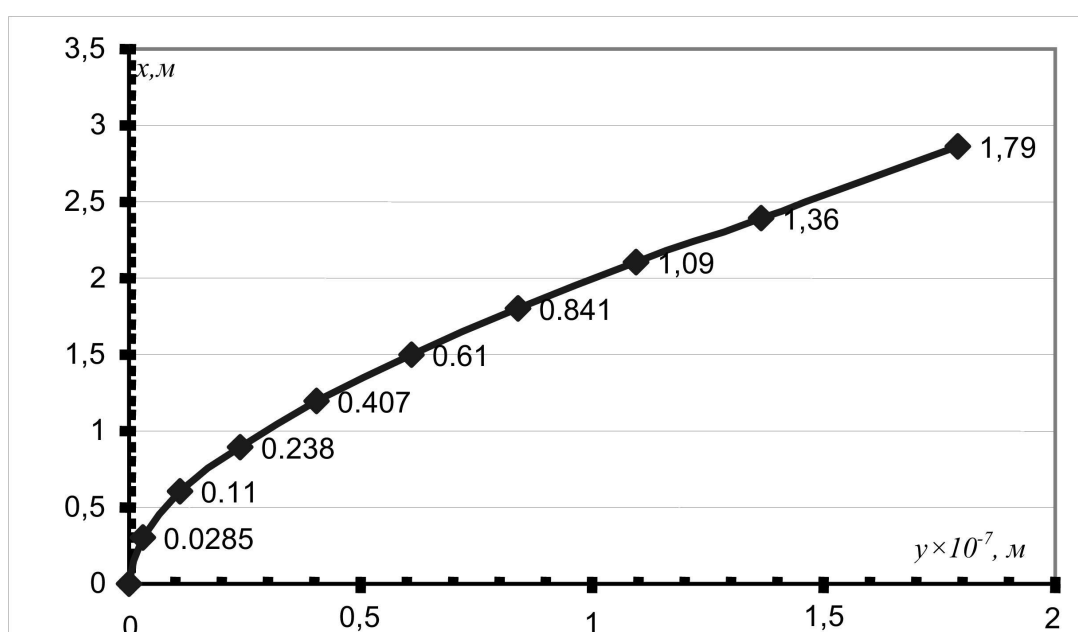


Рис. 4. Прогиб диафрагмы для расчетного случая 1

Таким же образом получим алгоритм решения, при загрузении поперечной равномерно распределенной и продольной сосредоточенной силой на конце консоли.

Частное решение неоднородного дифференциального уравнения (1) имеет вид:

$$y^* = \frac{q x^2}{2N} . \tag{14}$$

Тогда, суммируя общее решение (4) однородного уравнения и частное решение (14) неоднородного уравнения (1), получаем уравнение прогибов в таком виде:

$$y = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + C_3 k + C_4 + \frac{q x^2}{2N} . \tag{15}$$

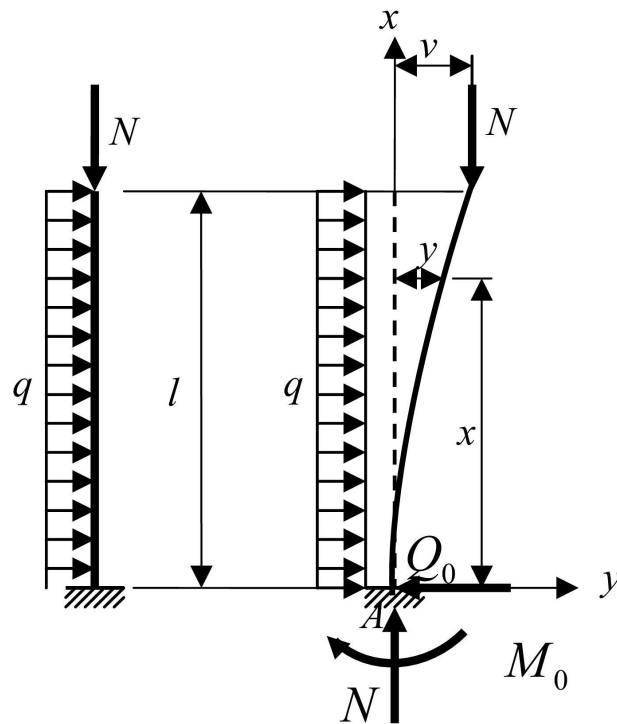


Рис. 5. Расчетная схема диафрагмы (2 случай)

Производные прогиба:

$$\begin{aligned}
 y' &= C_1 k \cos kx - C_2 k \sin kx + C_3 + \frac{qx}{N} \\
 y'' &= -C_1 k^2 \sin kx - C_2 k^2 \cos kx + \frac{q}{N} \\
 y''' &= -C_1 k^3 \cos kx + C_2 k^3 \sin kx
 \end{aligned} \tag{16}$$

Граничные условия задачи имеют вид:

$$y(0) = y_0 = 0, \Rightarrow C_2 + C_4 = 0;$$

$$y'(0) = y'_0 = 0, \Rightarrow C_1 k + C_3 = 0;$$

$$y''(0) = y''_0 = -\frac{M_0}{EI}, \Rightarrow -C_2 k^2 + \frac{q}{N} = -\frac{M_0}{EI};$$

$$y'''(0) = y'''_0 = -\frac{Q_0}{EI}; \Rightarrow -C_1 k^3 = -\frac{Q_0}{EI}.$$

Отсюда находим постоянные:

$$C_1 = \frac{Q_0}{kN}; \quad C_2 = \frac{M_0}{N} + \frac{q}{k^2 N}; \quad C_3 = -\frac{Q_0}{N}; \quad C_4 = -\frac{M_0}{N} - \frac{q}{k^2 N}.$$

Подставляя постоянные в (15) после преобразований получаем:

$$y = -\frac{M_0}{N}(1 - \cos kx) - \frac{Q_0}{kN}(kx - \sin kx) + \frac{q}{N}\left(\frac{x^2}{2} - \frac{1 - \cos kx}{k^2}\right) \quad (17)$$

Для определения изгибающего момента в начале координат используем условие равенства нулю момента на конце стержня:

$$M(l) = -EI\left(-\frac{M_0}{N}k^2 \cos kl - \frac{Q_0}{N}k \sin kl + \frac{q}{N}(1 - \cos kl)\right) = 0, \quad (18)$$

откуда получаем:

$$M_0 = -\frac{Q_0}{k} \operatorname{tg} kl + q \frac{1 - \cos kl}{k^2}. \quad (19)$$

Заметим, что поскольку в начале координат $\theta_0 = 0$, поперечная сила в начале координат совпадает по величине с условной поперечной силой: $Q_0 = \bar{Q}_0 = q \cdot l$.

Подставив данные, принятые ранее, и выполнив вычисления, получаем прогиб на конце $y = 6,72 \cdot 10^{-8} \text{ м}$, а также в промежуточных точках с шагом 0,3 м (рис. 6.).

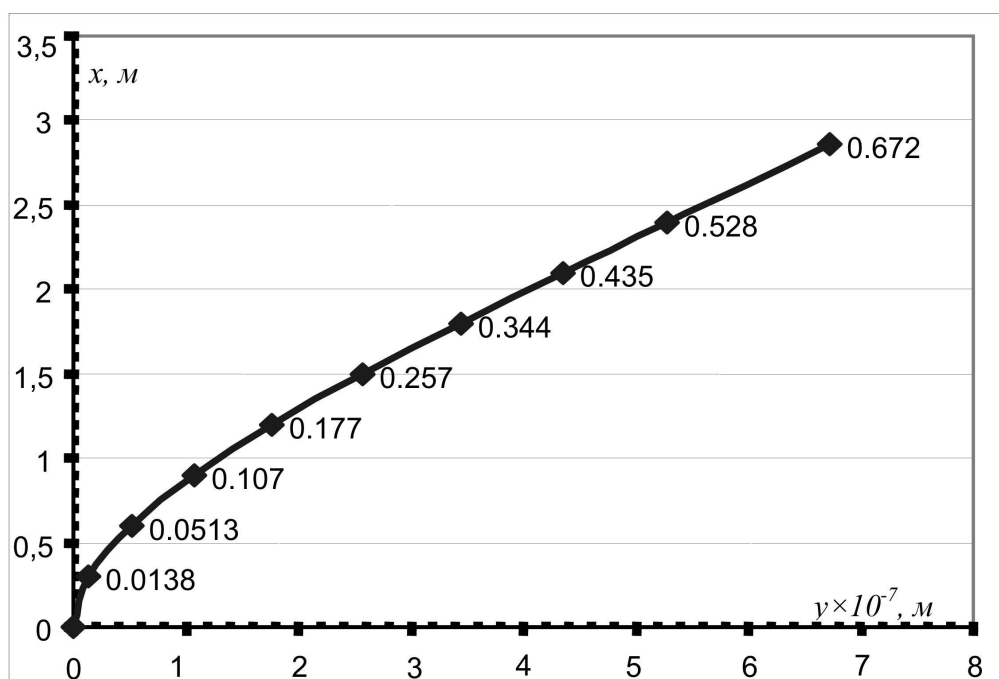


Рис. 6. Прогиб диафрагмы для расчетного случая 2

При наложении графиков (рис.4 и рис.6), получим сравнительное представление о прогибах при двух различных схемах.

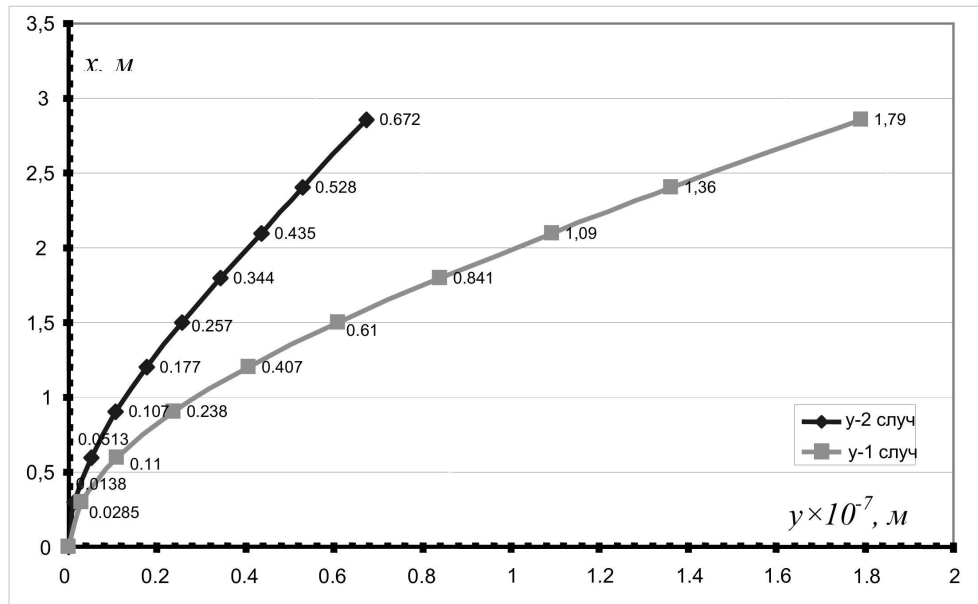


Рис. 7. Прогиб диафрагмы для 1 и 2 расчетных случаев

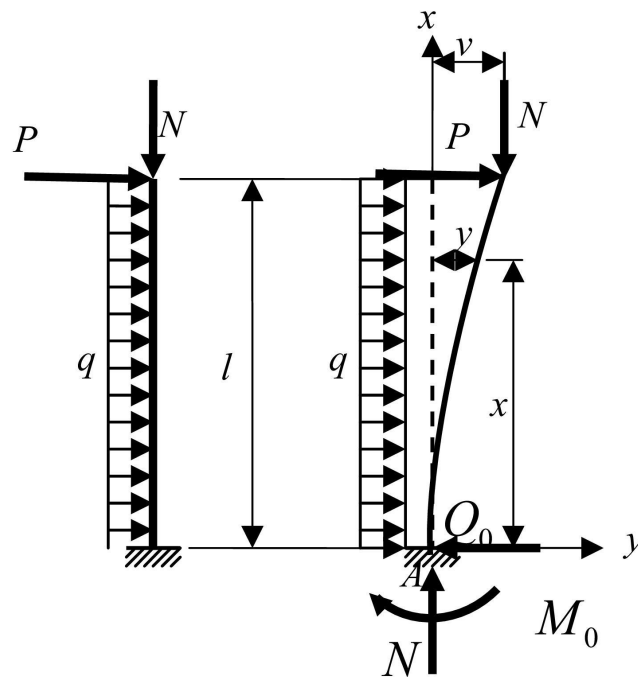


Рис. 8. Расчетная схема диафрагмы (совместное действие)

В итоге, общее значение прогиба при воздействии всего комплекса нагрузок на систему получаем суммированием двух предыдущих решений (13) и (17).

Соответственно значение изгибающего момента в заделке равно сумме моментов, полученных по (12) и (19):

$$y = -\frac{M_0}{N}(1 - \cos kx) - \frac{\bar{Q}_0}{kN}(kx - \sin kx) + \frac{q}{N}\left(\frac{x^2}{2} - \frac{1 - \cos kx}{k^2}\right) \quad (20)$$

$$M_0 = -\frac{Q_0}{k} \operatorname{tg} kl + q \frac{1 - \cos kl}{k^2}; \quad (21)$$

$$\bar{Q}_0 = P + ql. \quad (22)$$

Графически суммарный прогиб представлен на рис. 9.

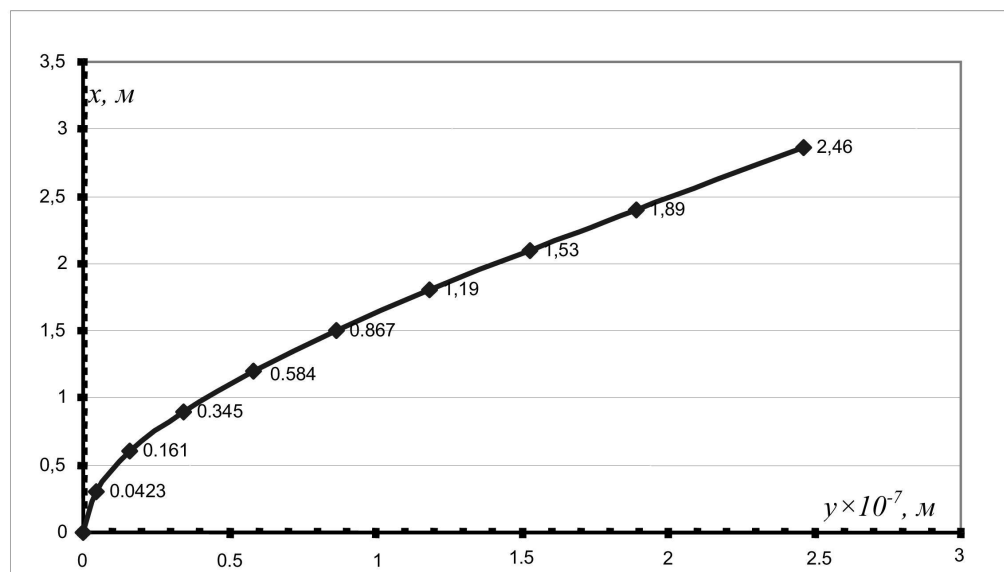


Рис. 9. Суммарный прогиб диафрагмы

Таким образом, в результате расчета получено значение прогиба y в уровне верха этажа от действия системы нагрузок, что соответствует реальной работе диафрагмы в монолитном здании связевой системы, а их величины общепринятым представлениям.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ржаницын А.Р. Строительная механика: Учеб. Пособие. – М.: Высш. шк., 1991. – 439 с.
2. Строительная механика: Учебник для вузов / Бутенко Ю.И., Засядько Н.А., Кан С.Н. и др. , Под ред. Бутенко. – К.: Выща шк., 1989. –с. 331.
3. Справочник по сопротивлению материалов / Фесик С.П. – К.: Будівельник, 1982. – с. 205.
4. Псурцева Н.А., Сироменко А.Н., Молодченко-Серебрякова Т.Г., Лугченко Е.И., Кулаков А.Ю. Оценка напряженно-деформированного состояния зданий жилищно-гражданского комплекса./ Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: Вид-во УДУВГП, 2003.- Випуск 10.- с.195-201.

СТРОИТЕЛЬСТВО, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ

Сборник научных трудов
Под общей редакцией доктора технических наук
Профессора В.И. Большакова

На русском и украинском языках
Выпуск 61

Художественный и технический редактор
Юрченко Е.Л.

Компьютерная верстка
Юрченко Е.Л.

Подписано в печать 31.08.2011 согласно решения
Ученого совета академии ГВУЗ «Приднепровская государственная
академия строительства и архитектуры» (протокол №1 от 31.08.2011)

Підписано до друку 31.08.2011 Формат 60x84 1/16.
Папір друк. Ум. друк. арк. 6,8 Облік.-видав. арк. 7,3.
Наклад. 300 прим. Зам. № 07/1136

Отпечатано в типографии издательства „Свидлер А.Л.”
49041, г. Днепрпетровск, а/я 2493, тел./факс +38 (056) 776-39-16
<http://svidler.dp.ua>