УДК 624.012.35

Разин Сергей Николаевич,
д-р техн. наук, профессор, заведующий,
кафедра сопротивления материалов и графики;
Галкина Марина Александровна,
аспирант, старший преподаватель,
кафедра сопротивления материалов и графики;
Гусева Полина Александровна,
студентка магистратуры 2-го года обучения,
ФГБОУ ВПО «Костромская сельскохозяйственная академия»,
г. Кострома, Россия

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ РАСЧЁТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЖЁСТКОСТЬ

Применяемая в настоящее время методика расчета на жесткость не отражает истинной картины перемещений, т.к. не позволяет установить максимальные значения прогибов упругого элемента установить и координаты сечений, в которых прогибы имеют максимальные значения.

Для решения поставленной задачи предлагается применить универсальные уравнения прогибов и углов поворота сечений многоопорного железобетонного элемента. Предлагаемая методика расчета отличается значительной простотой, минимальным уровнем счета, а главное, позволяет учитывать именно максимальные прогибы.

Ключевые слова: жесткость; прогиб; нагрузка; элемент; сечение; угол поворота; изгибающий момент

Sergey N. Razin,
Dr. of technical Sciences, Professor,
Head of Department of strength of materials and graphics;
Marina A. Galkina,
Postgraduate student, senior lecturer,
Department of strength of materials and graphics;
Polina A. Guseva,
2-year master's degree student,
FSBEI of HE «Kostroma agricultural Academy»,

Kostroma, Russia

ON DETERMINATION OF LINEAR DISPLACEMENTS IN THE CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS ON THE STIFFNESS

The currently used method of calculation for stiffness does not reflect the true pattern of displacements, because it does not allow to set the maximum values of deflections of the elastic element and set the coordinates of the sections in which deflections have maximum values.

To solve this problem, it is proposed to apply universal equations of deflections and angles of rotation of sections of a multi-reinforced concrete element. The proposed method of calculation is characterized by a significant simplicity, the minimum level of the account, and most importantly, allows you to take into account the maximum deflections.

Keywords: stiffness; deflection; load; element; section; rotation angle; bending moment

Расчёт на жесткость строительных элементов нормами [1] рекомендован как один из основных видов расчёта по второй группе предельных состояний. Его выполняют, проверяя выполнения условия неравенства:

$$f \le f_{ult}, \tag{1}$$

где f – прогиб железобетонного элемента от действия внешней нагрузки;

f_{ult} – значение предельно допустимого прогиба железобетонного элемента.

Нормами рекомендовано для случаев, когда прогибы железобетонных элементов зависят в основном от изгибных деформаций, определять их по формуле:

$$f = \int_0^l \overline{M}_x \left(\frac{1}{r}\right)_x dx, \tag{2}$$

где M_x – изгибающий момент в сечении «*x*» от действия единичной силы, приложенной по направлению искомого перемещения элемента в сечении по длине элемента «l», для которого определяют прогиб;

$\left(\frac{1}{r}\right)_x$ – полная кривизна элемента в сечении «x» от внешней нагрузки, при которой определяют прогиб.

Однако, поскольку проектировщика интересует не прогиб в произвольном сечении, а максимальный прогиб элемента, то условие (1) следует преобразовать к виду:

$$f_{max} \le f_{ult}, \tag{3}$$

где f_{max} – максимальное линейное перемещение в рассматриваемом пролёте железобетонного элемента.

Кроме того, использование выражения (2) возможно только для однопролётных балок, имеющих один участок, на котором аналитические выражение для изгибающего элемента может быть записано в однозначном детерминированном выражении. Во всех остальных случаях выражение (2) следует использовать в виде интегралов Мора:

$$f = \sum_{i=1}^{n} \int_{l_i} \frac{M_{xi} M_{xi}^1}{EI_x} dx, \tag{4}$$

где n – количество возможных «силовых» участков.

При этом величина « f » однозначно может быть определена только в том сечении рассматриваемого элемента, в котором приложена единичная сила. И это, безусловно, не означает, что в этом сечении прогиб элемента будет максимальным, так же как не означает и то, что кривизна упругой линии (центральной оси элемента) будет максимальной в том сечении, где возникает максимальный изгибающий момент. Если рассматривать два достаточно часто встречающихся случая (рис. 1), то это вполне иллюстрирует справедливость высказываемого тезиса.

Безусловно, разбив рассчитываемый элемент на участки по соответствующим правилам разбивки, можно построить кривую прогибов и по ней определить максимальное значение прогиба для всего рассматриваемого (в том числе многоопорного) элемента.

Но аналитически задачу можно решить проще, используя универсальные уравнения прогибов и углов поворота сечений многоопорного железобетонного элемента в виде:

$$EI_x y = EI_x y_0 + EI_x \varphi_0 \frac{(x-a)^1}{1!} + \sum_{i=1}^{n} \frac{M_i (x-a_M)^2}{2!} + \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i (x-a_P)^3}{3!} + \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i (x-a_q)^4}{4!} \qquad (5)$$

$$EI_x \varphi = EI_x \varphi_0 + EI_x \varphi_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{M_i (x-a_M)^1}{1!} + \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i (x-a_P)^2}{2!} + \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i (x-a_q)^3}{3!} \qquad (6)$$

где y_0 и φ_0 – прогиб и угол поворота сечения элемента, расположенного в начале координат.

Записав для рассматриваемой упругой системы уравнение (5) и уравнение (6); определив из 2-х уравнений постоянные интегрирования, используя граничные условия, а затем, приравняв нулю уравнение (6), можно найти все координаты «*x*» сечений, в которых имеют место экстремальные значения прогибов. Выбрав по абсолютной величине максимальный прогиб, можно записать условие жесткости в форме (4), что и является решением поставленной задачи расчета на жесткость.

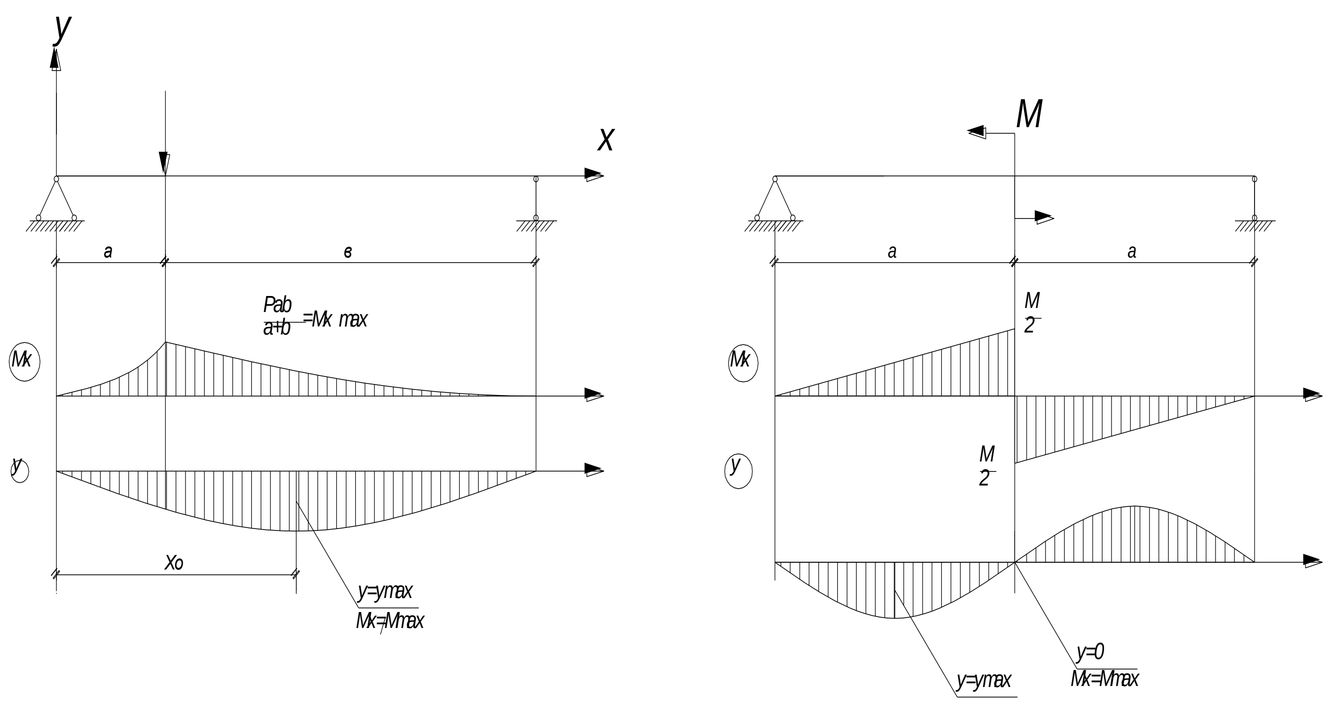

Рисунок 1 – Схема расположения сечений с максимальным изгибающим моментом и максимальным прогибом:

M_x – изгибающий момент;

y – прогиб произвольного сечения.

Основные выводы:

1. Предлагаемая нормами методика расчёта прогибов железобетонных многоопорных балочных систем не позволяет установить максимальные значения прогибов упругого элемента, т.к. не позволяет установить координаты сечений, в которых прогибы имеют максимальные значения.

2. Использование интегралов Мора для определения перемещений сечений балок позволяет получить дискретные значения перемещений, но не позволяет находить координаты сечений, получивших наибольшие (в том числе максимальные) перемещения.

3. Применение универсальных уравнений прогибов и углов поворота позволяет кратко и достаточно просто решить задачу определения координат сечений с наибольшими перемещениями, а также решить задачу нахождения максимального из возможных перемещений.

Таким образом, предлагаемая авторами статьи методика расчета отличается значительной простотой, минимальным уровнем счёта, а главное, позволяет учитывать именно максимальные прогибы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *СП52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – Москва: Госстрой России. – 29с.*
2. *Абрамов Л.М. К вопросу расчета элементов железобетонных конструкций на жесткость по линейным деформациям / Л.М. Абрамов, И.Л. Абрамов, Д.А. Новиков // Бетон и железобетон – 2009. –№6. – С. 18-21.*
3. *Абрамов Л.М. Методика определения линейных перемещений сечений железобетонных элементов / Л.М. Абрамов, Д.А. Новиков / Труды международной научно-практической конференции «Строительство-2009». – Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т, 2009.*