

УДК 624.012.045

ЖЕСТКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА УЧАСТКАХ С НАКЛОННЫМИ ТРЕЩИНАМИ

ЖОРСТКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ДІЛЯНКАХ З ПОХИЛИМИ ТРІЩИНАМИ

RIGIDITY OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS ON THE TAPERING SECTION CRACKS

Колчунов В.И. д.т.н., проф., Омельченко Е. В. ассистент, Тугай Т. В. ассистент (Национальный авиационный университет, г. Киев)

Колчунов В.І. д.т.н., проф., Омельченко Е. В. асистент, Тугай Т. В. асистент (Національний авіаційний університет, м. Київ)

Kolchunov V. I., doctor of technical sciences, professor, Omelchenko E.V. assistant, Tugay T.V. assistant (National Aviation University, Kiev)

Рассмотрен альтернативный метод единичных вертикальных полосок, который сводится к схеме составного стержня для определения жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами, и предложен новый вариант моделирования наклонных трещин при сейсмических воздействиях.

Розглянуто альтернативний метод одиничних вертикальних смужок, який зводиться до схеми складеного стержня для визначення жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, і запропоновано новий варіант моделювання похилих тріщин при сейсмічних впливах.

It is considered an alternative method of single vertical bars, which reduces to the scheme composite rod to determine the stiffness of reinforced concrete constructions in areas with inclined cracks, and it is proposed a new model of the inclined crack when seismic effects.

Ключевые слова:

Железобетон, конструкции, трещины, стержень, жесткость, сейсмика.

Залізобетон, конструкції, тріщини, стержень, жорсткість, сейсміка.

Reinforced concrete, construction, crack, rod, rigidity, seismic.

Широкое применение железобетонных конструкций в различных, в последние годы всё более сложных и ответственных сооружениях, вызывает настоятельную потребность развития теории и совершенствование методов их расчёта.

Сегодня внимание заострено на исследованиях напряженно-деформированного состояния железобетона как несплошного материала после образования трещин и необходимости построения новых уравнений трещинообразования, дополняющих статические, геометрические и физические уравнения механики железобетона. Важным при этом является также учет относительных взаимных смещений арматуры и бетона на участках между трещинами и эффекта, связанного с нарушением сплошности железобетона.

Применительно к оценке сейсмостойкости зданий и сооружений, проектируемых и эксплуатируемых с учетом их фактического технического состояния, жесткости плосконапряженных стеновых и стержневых железобетонных конструкций, с учетом трещин, или тех, которые принимаются по схеме «конверта», допускается определять жесткость методом единичных полосок с использованием теории составных стержней А.Р. Ржаницына [1].

На рассчитываемую конструкцию наносится реальная схема трещин (рис. 1). С помощью метода сечений вырезается вертикальная единичная полоска (рис. 1 и 2), которая рассчитывается по схеме составного стержня с монолитными швами при отсутствии трещин и податливыми швами – при наличии трещин в конструкции. Определяется работа W_1 усилий выделенной

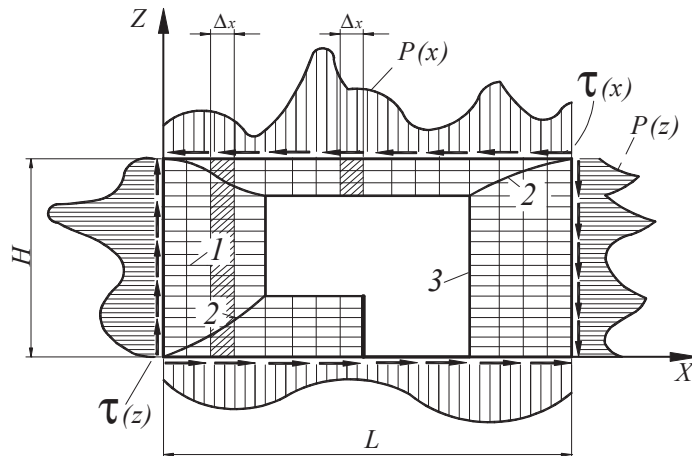


Рис. 1. К расчету плосконапряженных железобетонных конструкций с оконными и дверными проемами на сейсмические воздействия:
1 – границы горизонтальных полос; 2 – трещины; 3 – проем

вертикальной единичной полоски (при использовании метода конечных элементов единичный размер заменяется на значение Δx) без наложения схемы трещин, а также определяется работа W_2 усилий той же единичной полоски с учетом выявленной схемы трещин сейсмического воздействия (или схемы «конверта»).

Количество вертикальных полосок может быть полным (в пределах всей конструкции) или неполным – достаточно использовать три-шесть вертикальных полос, а промежуточные значения b_k определяются по линейной интерполяции.

Методика [2] позволяет определять жесткости конструкций и этажей зданий и сооружений, состоящих из железобетонных плосконапряженных и стержневых конструкций с трещинами, по двум вариантам.

Первый вариант выполняется без изменения заданного вначале порядка и номеров плоских конечных элементов (КЭ), на которые разбивается плосконапряженная конструкция для расчета по МКЭ. При этом, в КЭ, прилегающие к неявным трещинам (схема трещин проектируется неявно), уменьшается их толщина, которая определяется из условия равенства работ в специально выделенных единичных полосках по модели составного стержня, а для стержневых конструкций – с использованием модели эквивалентной плосконапряженной конструкции (рис. 3).

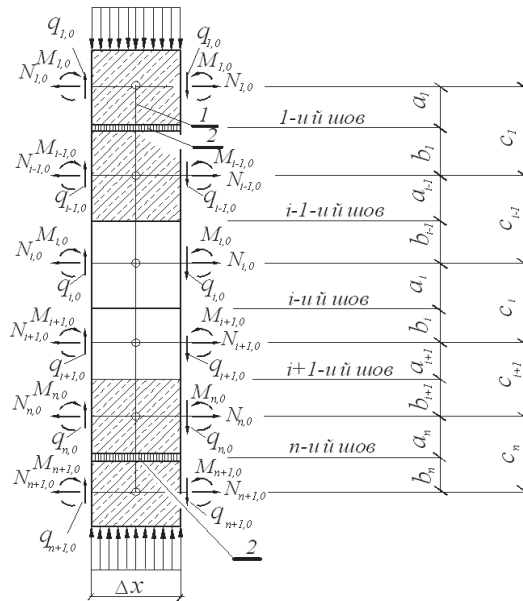


Рис. 2. Вертикальная отдельная полоска, рассмотренная по схеме составного стержня:
1 – поперечные связи, 2 – трещины

Алгоритм расчета предполагает наличие итерационного процесса, регулируемого достигнутой точностью толщины указанных КЭ, прилегающей к неявным трещинам, и динамических характеристик здания и сооружения.

Для практических расчетов допускается определять толщину КЭ, прилегающих к неявным трещинам, с использованием разности работ только двух КЭ, прилегающих к горизонтальным и вертикальным отрезкам моделируемой неявной трещины.

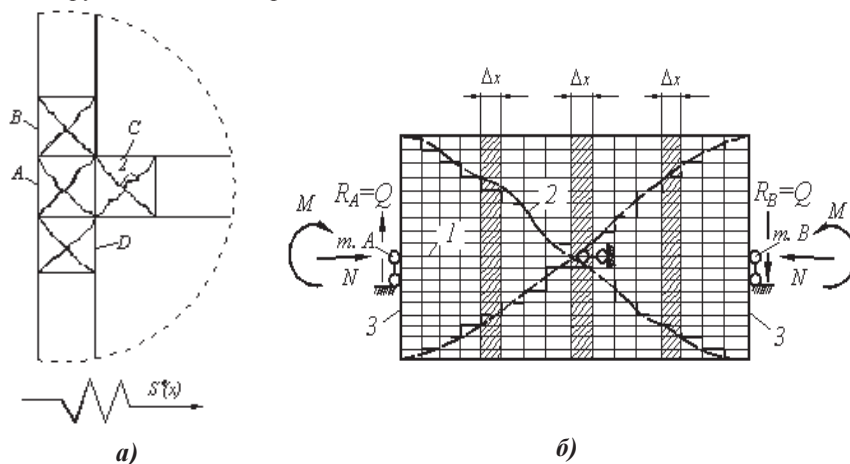


Рис. 3. К расчету плоскостнонапряженных и стержневых железобетонных конструкций на сейсмические воздействия:

- a* – выделение характерных зон и схем трещин;
- б* – расчетная модель для уточнения жесткости выделенных зон;
- 1 – границы горизонтальных полосок, 2 – трещины
- 3 – абсолютно жесткие торцевые вставки

Работа каждой пары КЭ вычисляется дважды с использованием двухэлементной консольной модели: монолитное соединение двух КЭ (W_1) и после их расшивки (W_2) (при этом полевое армирование заменяется двумя стержневыми КЭ, расположенными по краям плоских КЭ).

Усредненные усилия в узлах в горизонтальном и вертикальном направлениях двухэлементной консольной модели определяются из нелинейного расчета всей плоскостнонапряженной конструкции. Для этого используются напряжения в конечных элементах бетона и арматуры.

Перемещения узлов определяются из расчета двухэлементной консольной модели с приложенными в узлах нагрузками. При этом опорное закрепление двух узлов консоли (шарнирно подвижное и шарнирно неподвижное), в целях усреднения, необходимо задавать как слева, так и справа.

В местах перехода горизонтального участка моделируемых трещин к вертикальному, работы угловых плоских КЭ определяются путем

усреднения.. В результате новая толщина КЭ, прилегающих к трещине, определяется по формуле:

$$b_i = \frac{W_1}{W_i} \cdot b_1. \quad (1)$$

Второй вариант определяет жесткость зданий и сооружений с плоско-напряженными и стержневыми конструкциями с использованием специального приема моделирования явных трещин – шелей, которые располагаются по диагоналям конструкции (см. рис. 3). При этом арматурные стержни плосконапряженных конструкций моделируются дополнительными КЭ, а также учитывается раскрытие и закрытие трещин с учетом имеющихся возможностей вычислительных комплексов на основе МКЭ.

Жесткость стержневых конструкций на участках с наклонными трещинами, в том числе с пересекающимися трещинами, (характерными при сейсмических воздействиях для опорных участков и узлов соединений), определяется с помощью специальной расчетной модели плосконапряженных конструкций (см. рис. 3).

Жесткость указанных участков (полос) заменяется эквивалентной жесткостью

$$B(\lambda) = \frac{M^2 \cdot \Delta x}{2 \cdot W_3}, \quad (2)$$

где W_3 – работа усилий выделенного участка (полосы).

Итерационный процесс заканчивается при достижении заданной погрешности $B_1(\lambda)$.

Для практических расчетов также допускается определять толщину КЭ, прилегающих к трещинам, с использованием разности работ только двух КЭ, прилегающих к горизонтальным и вертикальным отрезкам моделируемой трещины.

На участках с нормальными трещинами жесткость стержневых железобетонных конструкций определяется с использованием значения изгибающего момента M и радиус кривизны ρ , по нормативной методике в соответствии с ДБН В.2.6–98 для соответствующей рассматриваемой i -ой зоны (участок рекомендуется разделить на 4–6 зон):

$$B_i(\lambda) = M_i \cdot \rho_i. \quad (3)$$

Одним из проблемных вопросов до настоящего времени остаётся также расчёт железобетонных конструкций по наклонным сечениям. И хотя уже в последние годы, в решении этой проблемы получены определённые достижения, определилось новое направление, всё же многие из возникающих здесь вопросов остаются не изученными. Не нашли ещё должного отражения исследования влияния основных факторов на

сопротивление железобетонных конструкций по наклонным сечениям. В частности не достаточно полно учитывается влияние местного напряженно-деформированного состояния в бетоне, прилегающем к арматуре в зонах пересечения наклонных трещин, не достаточно разработана практическая методика определения жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами.

В работе [3] предложена модель формирования наклонных трещин, позволяющая объединить расчетные схемы для наклонных трещин, которые начинаются с растянутой зоны железобетонного элемента и развиваются к источнику нагружения, и для наклонных трещин, образующихся в окрестности нейтральной оси железобетонного элемента и развивающихся как в сторону сжатой, так и растянутой его зоны, что заметно упрощает расчётный аппарат. Предложены группы уравнений, позволяющие определить неизвестные параметры расчетных арок (рис. 4, 5), входящих в рассматриваемую модель, в том числе с учетом влияния местного напряженно-деформированного состояния в бетоне, что заметно уточняет практическую методику определения ширины раскрытия и жесткости железобетонных элементов на участках с наклонными трещинами.

Применительно к расчету жесткости вырезается вертикальная отдельная полоска (рис. 1 и 2), которая рассчитывается по схеме составного стержня с податливыми швами в местах пересечения их наклонными трещинами (в пределах пересечения полосы трещины рассматриваются как горизонтальные) – рис.4.

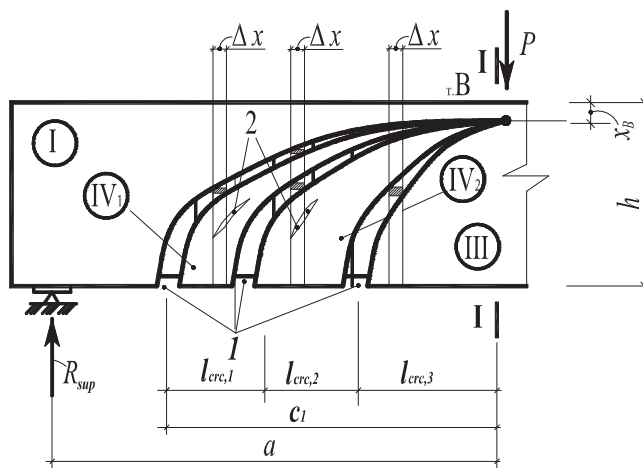


Рис. 4. Модель формирования наклонных трещин:
1 – трещины первого рода, 2 – трещины второго рода

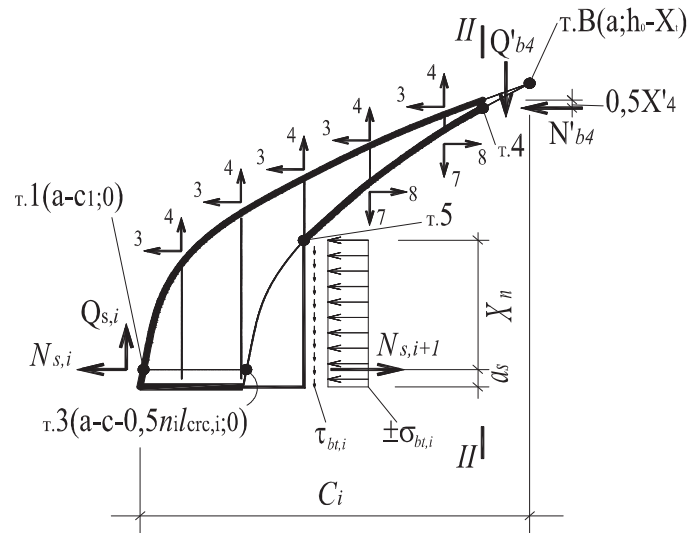


Рис. 5. Расчётная схема для определения параметров при развитии трещины второго рода в блоке IVi: 3,4,7,8 – $q_{sw,1}$, $q_{sw,2}$, $q_{sw,5}$, $q_{sw,6}$, соответственно

Таким образом, опираясь на предложенный в работе новый вариант моделирования формирования наклонных трещин и арок с их расчетными параметрами, для определения жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами, также целесообразно использовать метода единичных вертикальных полосок, сводящейся к схеме составного стержня.

Рассмотрен альтернативный метод единичных вертикальных полосок, который сводится к схеме составного стержня для определения жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами и предложен новый вариант моделирования наклонных трещин при сейсмических воздействиях.

1. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки / А. Р. Ржаницин. – М. : Стройиздат, 1986. – 316 с.
2. Колчунов В. И. Метод определения жесткостных характеристик железобетонных конструкций при сейсмических воздействиях / В. И. Колчунов, Н. Г. Марьенков // Будівництво України. – 2008. – Вып. 3. – С. 24–29.
3. Колчунов В. И. Деформирование железобетонных конструкций при наличии наклонных трещин / В. И. Колчунов, Е. В. Омельченко // Будівництво України. – К. : 2008. – Вып. 2. – С. 40–43.