

УДК 624.012.045

Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях

Владимир Иванович КОЛЧУНОВ¹, доктор технических наук, профессор, e-mail: vikolchunov@mail.ru

Николай Григорьевич МАРЬЕНКОВ², кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: seismo@i.ua

Екатерина Викторовна ОМЕЛЬЧЕНКО¹, соискатель, e-mail: ostafkatya@bigmir.net

Татьяна Владимировна ТУГАЙ¹, соискатель, e-mail: ttatianav@ukr.net

Анастасия Сергеевна БУХТИЯРОВА³, кандидат технических наук, e-mail: yz_swsu@mail.ru

¹ Национальный авиационный университет, Украина, 03058 г. Киев, просп. Космонавта Комарова, 1

² ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», Украина, 03680 г. Киев, ул. Ивана Клименко, 5/2

³ ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», 305040 г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

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

Ключевые слова: железобетонные конструкции, наклонные трещины, составной стержень, жесткость конструкций, сейсмическое воздействие.

METHODS OF DETERMINING THE STIFFNESS OF PLANAR STRESSED AND FRAME REINFORCED CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES UNDER SEISMIC ACTIONS

Vladimir I. Kolchunov¹, e-mail: vikolchunov@mail.ru, **Nikolay G. Mar'enkov**², e-mail: seismo@i.ua,

Ekaterina V. Omel'chenko¹, e-mail: ostafkatya@bigmir.net, **Tatyana V. Tugai**¹, e-mail: ttatianav@ukr.net,

Anastasia S. Bukhtiyarova³, e-mail: yz_swsu@mail.ru

¹ Национальный авиационный университет

² ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций»

³ ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»

Abstract. 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.

Key words: reinforced concrete constructions, inclined cracks, composite rod, stiffness, seismic impact.

Широкое применение железобетонных конструкций в различных сооружениях, в том числе особо сложных, вызывает настоятельную потребность развития теории и совершенствования методов их расчета [1].

Сегодня внимание заострено на исследованиях напряженно-деформированного состояния железобетона как сплошного материала после образования трещин и на 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 объектов, которые принимаются по схеме «конверта», допускается определять жесткость методом единичных полосок с использованием теории составных стержней А. Р. Ржаницына [2].

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 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 — до-

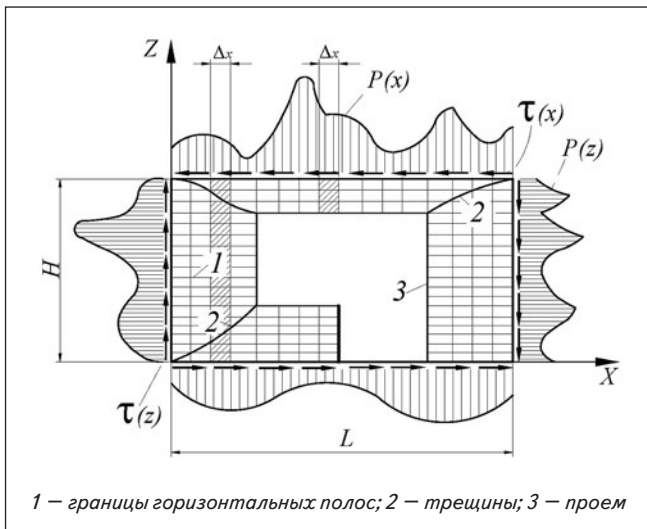


Рис. 1. К расчету плосконапряженных железобетонных конструкций с оконными и дверными проемами на сейсмические воздействия

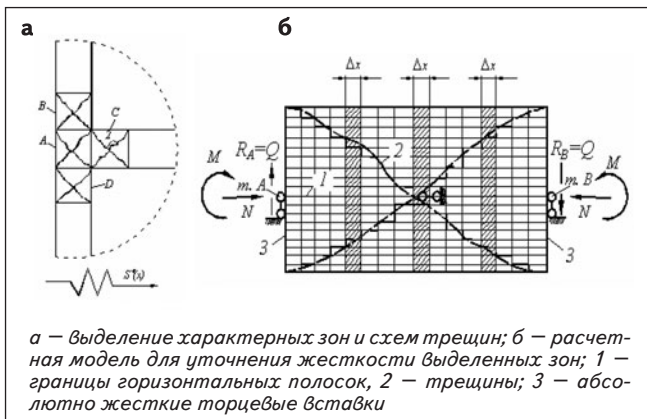
статочно использовать три-шесть вертикальных полосок, а промежуточные значения b_k определить по линейной интерполяции.

Методика, приведенная в работе [3], позволяет определять жесткость конструкций и этажей зданий и сооружений, состоящих из железобетонных плосконапряженных и стержневых конструкций с трещинами, по двум вариантам.

При первом варианте заданный вначале порядок и номера плоских конечных элементов (КЭ), на которые разбивается плосконапряженная конструкция для расчета по МКЭ, не изменяются. При этом в КЭ, прилегающих 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).

Алгоритм расчета предполагает наличие итерационного процесса, регулируемого достигнутой точностью тол-

Рис. 3. К расчету плосконапряженных 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

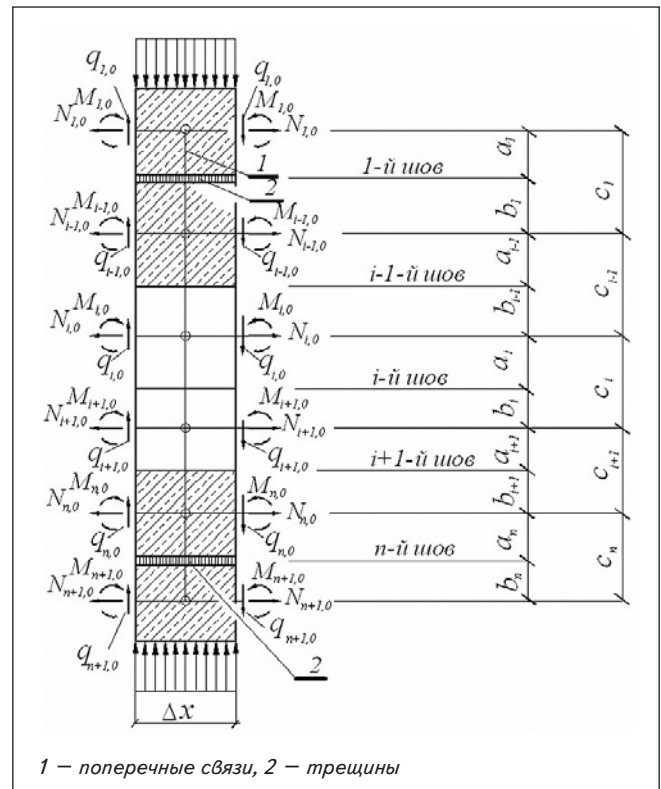


Рис. 2. Вертикальная отдельная полоска, рассмотренная по схеме составного стержня

щины указанных КЭ, прилегающих 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.

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 плосконапряженной конструкции. Для этого используются напряжения в конечных элементах бетона и арматуры.

Перемещения узлов находят 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 работу угловых плоских КЭ вычисляют путем усреднения. В результате новую толщину КЭ, прилегающих к трещине, определяют по формуле

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

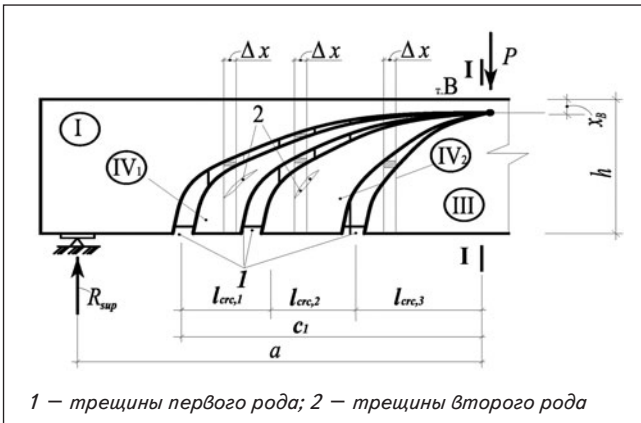


Рис. 4. Модель формирования наклонных трещин

По второму варианту жесткость зданий и сооружений с плосконапряженными и стержневыми конструкциями определяют с использованием специального приема моделирования явных трещин — щелей, 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 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:

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

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 можно определить с использованием значения изгибающего момента M и радиуса кривизны ρ по нормативной методике в соответствии с ДБН В.2.6—98 для рассматриваемой i -й зоны (участок рекомендуется разделить на 4—6 зон):

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

Одним из проблемных вопросов до настоящего времени остается расчет железобетонных конструкций по наклонным сечениям. И хотя в последние годы в решении этой проблемы уже появились некоторые достижения, определилось новое направление, все же многие из возникающих вопросов остаются не изученными. Так, не нашли еще должного отражения исследования влияния

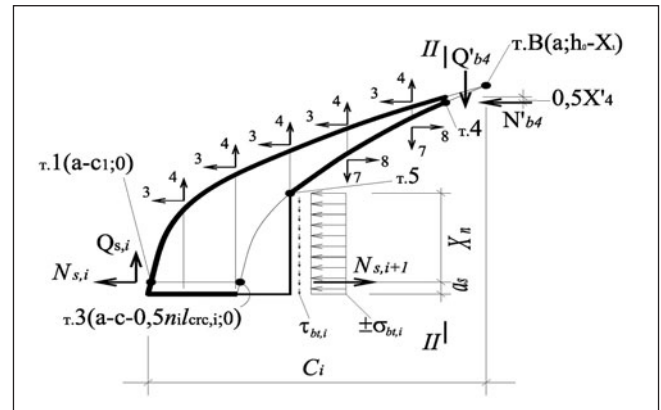


Рис. 5. Расчетная схема для определения параметров при развитии трещины второго рода в блоке IV (см. рис. 4): 3, 4, 7, 8 — $q_{sw,1}$, $q_{sw,2}$, $q_{sw,5}$, $q_{sw,6}$ соответственно

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

В работе [4] 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 в сторону как сжатой, так и растянутой его зоны, что заметно упрощает расчетный 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 (см. рис. 1, 2), которая рассчитывается по схеме составного стержня с податливыми швами в местах пересечения их наклонными трещинами (в пределах пересечения полоски трещины рассматриваются как горизонтальные) (см. рис. 4).

Выводы

1. 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 целесообразно использовать метод единичных вертикальных полосок, сводящийся к схеме составного стержня.

2. 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондаренко В. М., Колчунов В. И.* Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 28–31.
2. *Ржаницын А. Р.* Составные стержни и пластинки. М. : Стройиздат, 1986. 316 с.
3. *Колчунов В. И., Марьенков Н. Г.* Метод определения жесткостных характеристик железобетонных конструкций при сейсмических воздействиях // Будівництво України. 2008. Вып. 3. С. 24–29.
4. *Колчунов В. И., Омельченко Е. В.* Деформирование железобетонных конструкций при наличии наклонных трещин // Будівництво України. 2008. Вып. 2. С. 40–43.

REFERENCES

1. *Bondarenko V. M., Kolchunov V. I.* **Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях.** *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 2, pp. 28–31. (In Russian).
2. *Rzhanitsyn A. R.* **Sostavnye stержni i plastinki [Составные стержни и пластинки].** Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 316 p. (In Russian).
3. *Kolchunov V. I., Mar'enkov N. G.* **Метод определения жесткостных характеристик железобетонных конструкций при сейсмических воздействиях.** *Budivnitstvo Ukraini*, 2008, vol. 3, pp. 24–29. (In Russian).
4. *Kolchunov V. I., Omel'chenko E. V.* **Деформирование железобетонных конструкций при наличии наклонных трещин.** *Budivnitstvo Ukraini*, 2008, vol. 2, pp. 40–43. (In Russian). ■