

УДК 624.012

Н.В. Ключева, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: klynavit@yandex.ru)

С.И. Горностаев, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: pgs_swsu@mail.ru)

К ВОПРОСУ ВЫБОРА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЖЕСТКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрено фактическое состояние вопроса по формированию методов расчета жесткости железобетонных конструкций. Приведены основные недостатки и достоинства существующих расчетных методик. Определены пути совершенствования расчета трещиностойкости железобетонных балочных конструкций с учетом целого ряда параметров, таких как расчетной схемы элемента и соотношения величин действующих усилий, прочности бетона при осевом сжатии, армированию, формы и размеров сечения, параметров анкеровки арматуры в бетоне и др. Показана необходимость исследования многоуровневого процесса образования и развития трещин с учетом эффекта нарушения сплошности бетона.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, физические модели сопротивления, механика разрушения, механика железобетона.

При возведении и эксплуатации гражданских и промышленных зданий имеют место случаи, когда в несущих железобетонных конструктивных элементах не только возникают недопустимые перемещения, но и образуются и раскрываются трещины, значительно превышающие установленные СНиПом значения. Причиной этому служат не только отклонениями от требований проектной документации, в том числе при изготовлении и монтаже таких конструкций, но и расчетными ошибками при их проектировании. С другой стороны, важной задачей является выявление и оценка фактического состояния несущей конструкции в условиях эксплуатации с целью установления причин повреждения для определения остаточного ресурса такого элемента. Использование той или иной расчетной модели при проектировании, а также для проведения анализа живучести строительных систем из упругохрупкопластического материала типа железобетон может в значительной степени повлиять на точность результатов и, как следствие, на принятие конкретных проектных решений [1,2].

Жесткость железобетонных конструкций в классическом подходе оценивается по предложенной В. И. Мура-

шевым [2] методике и с рассмотренным в п. 1.4 [3] коэффициентом ψ_s , который учитывает работу бетона растянутой зоны между трещинами. Положения данной методики сводятся по сути к предпосылкам, предполагающим наличие трещин в в растянутой зоне изгибаемых железобетонных элементов при эксплуатационных нагрузках, упругопластическую работу материала и работу бетона на участках между трещинами, а также «работу» гипотезы плоских сечений. По сути, была создана общая теория жесткости и трещиностойкости железобетона.

Развитие подходов к совершенствованию методов оценки деформативности железобетона, а также результаты экспериментальных исследований последних лет [4,5] стали основанием для пересмотра некоторых положений метода В. И. Мурашева, особенно в части принятого им допущения об одном уровне трещинообразования. В частности, стал вызывать сомнения неучет работы бетона растянутой зоны над трещиной. Одним из первых Я. М. Немировский как теоретически, так и экспериментально показал, что на начальной стадии образования трещин растянутый бетон в зоне над трещиной способен воспринимать существенную долю растягивающего усилия. В то же

время, учет в расчете данного факта позволяет с физической точки зрения получить более строгое математическое описание рассматриваемого процесса.

Дальнейшее развитие данного вопроса было, в том числе, связано с использованием вычислительных комплексов. Численные исследования позволили определять положение центра тяжести сечения, величину жесткостей на различных этапах нагружения [6] и т.п.

Методика НИИЖБ [7], базирующаяся на методе предельного равновесия, содержала новый существенно более прогрессивный подход в части использования в ней экспериментально установленного критерия прочности. Безусловные преимущества данной методики не были лишены и некоторых недостатков, одним из которых является независимость расчетов по изгибающему моменту и поперечной силе. Спорной является и предпосылка о достижении сопротивления бетонная сжатой зоны и растянутой арматуры предельных значений к моменту разрушения элементов по кривой трещине. Необходимо отметить, что вопросы исследования опасных косых трещин и вопросы оценки сцепления арматуры с бетоном с позиции рассмотрения элемента в целом находятся в разряде малоизученных.

Экспериментальные работы последнего времени направлены на исследование целого ряда параметров: расчетной схемы элемента и соотношения величин действующих усилий, прочности бетона

при осевом сжатии, армированию, формы и размеров сечения, параметров анкеровки арматуры в бетоне и др.

Ряд важных исследований в этом направлении по прочности наклонных сечений железобетонных элементов выполнен в Вильнюсе. Установлено, что наклон равнодействующих усилий в растянутой и сжатой зонах зависит от многих факторов: геометрии продольного профиля балки и ее поперечного сечения, схемы нагружения, местоположения и длины наклонной трещины, количества арматуры, марки бетона и т. д.

Результаты таких исследований в качестве критерия разрушения по кривой трещине в железобетонном элементе позволяют принимать нарушение сцепления продольной арматуры с бетоном в зоне действия поперечной силы или исчерпания сопротивления сжатого бетона над кривой трещиной.

Оценка сопротивления железобетонных элементов по Кани перерезывающим силам на основе анализа траекторий главных напряжений в изгибаемом элементе заслуживает отдельного внимания. Расчетная модель этой теории определяет усилия в поперечной арматуре как опорные реакции внутренних арок, работающих с распором (рис. 1). При этом ограничивается область снижения относительной прочности железобетонного элемента при его расчете по наклонным сечениям.

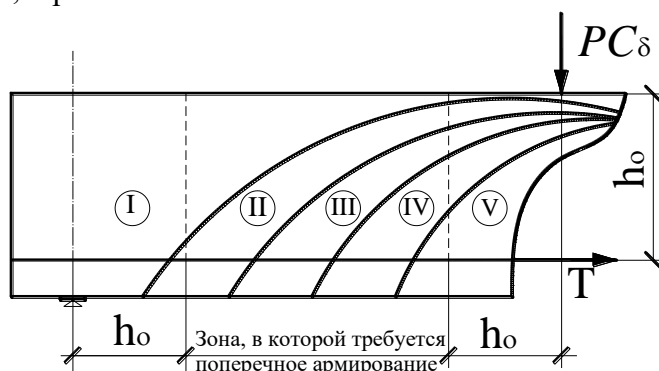


Рис. 1. Расчетная модель к «рациональной теории» Кани

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования несущей способности клиновидных элементов [8] показали, что теория Кани, при несомненной ее строгости, не позволяет производить моделирование и оценку работы бетона в конце критической наклонной трещины. Методика Кани основана на изучении физических явлений и позволяет выполнять расчет прочности, учитывающий совместное действие момента и поперечной силы. В то же время, открытым остается ряд вопросов, исследование которых по-видимому потребует проведения ряда экспериментально-теоретических работ. К таким малоизученным вопросам стоит, прежде всего, отнести более строгий учет напряженно-деформированного состояния арматуры, пересекаемой наклонной трещиной, работы бетона над вершиной наклонной трещины, назначение эпюр нормальных и касательных напряжений с учетом действительной работы «блоков» относительно друг друга, отыскание невыгоднейшего наклонного сечения как функции многих переменных параметров, определяющих напряженно-деформированное состояние рассматриваемой зоны и т.д.

Таким образом, развитие теории прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям, а также развитие

расчетных моделей будет направлен на углубленное исследование характера трещинообразования и разрушения такого элемента. При этом рассматриваться должны действительные картины развития трещин на участках совместного действия поперечной силы и изгибающего момента в том числе с учетом деформации сдвига.

Одним из направлений в решении данной задачи стали работы авторского коллектива [5,9], в которых в качестве основополагающей предложена арочная расчетная модель (рис. 2), аналогичная модели Кани.

Основным из отличий предлагаемой модели от известной стало привлечение схемы единичной полоски для определения жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами.

Такой подход позволит исследовать многоуровневый процесс образования и развития трещин с учетом эффекта нарушения сплошности бетона, а так же позволит проводить расчет деформативности железобетонного элемента с наклонными трещинами с более полным учетом ряда важных взаимовлияющих факторов, аналитическое описание которых уже не будет носить эмпирическую или полуэмпирическую основу.

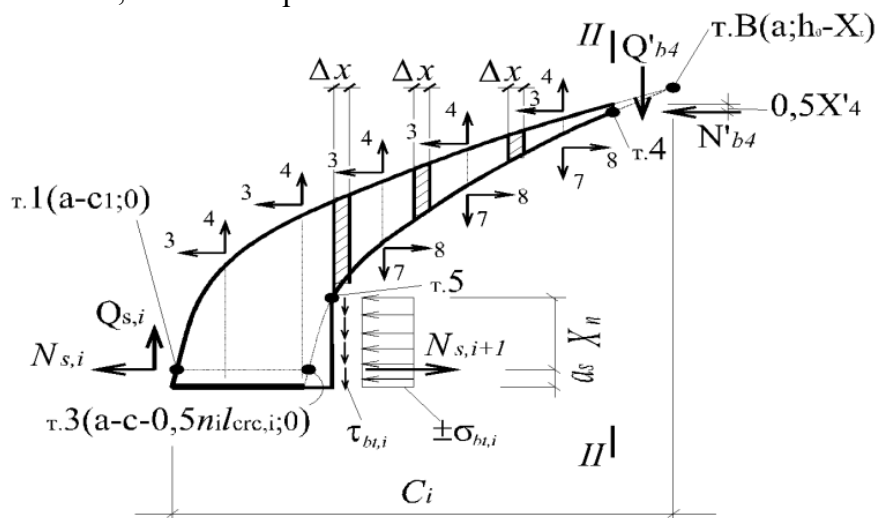


Рис. 2. Расчетная схема арки, используемая для формирования наклонных трещин в пролете «среза»: 3, 4 – продольные и поперечные усилия в хомутах в опасной косой трещине; 7, 8 – то же, в смежной трещине

Полученные авторами данные [9] по величине деформативности железобетонных составных балок, к примеру, позволили утверждать, что численные значения прогиба в зоне наклонных трещин более чем на 30% отличаются от значений в середине пролета. Эти данные открывают широкие возможности для более рационального проектирования статически неопределимых балочных и стержневых железобетонных конструкций.

Список литературы

1. Ключева Н.В., Струков А.Н. К вопросу обобщения исследований напряженно-деформированного состояния составного железобетонного элемента при нарушении его сплошности // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технология. – 2014. – №2. – С.35-39
2. Мурашев В. И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. – М.: Машстройиздат, 1950. – 268 с.
3. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций / Ю.В. Верюжский, В.И. Колчунов, М.С. Барабаш, Ю.В. Гензерский. – Киев: Изд-во НАУ, 2006. – 808 с.
4. Колчунов В. И., Колчин Я. Е., Стадольский М. И. Экспериментальные исследования по определению приведенной жесткости на сдвиг в железобетонных

элементах составного сечения // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – №2. – С. 62–67.

5. Методика экспериментальных исследований прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям / Х. З. Баширов, А. А. Дородных, К. М. Чернов, И. С. Горностаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 5. – С. 29–32.

6. Чотчаев А. А. Влияние различных режимов нагружения на ширину раскрытия трещин и прогиба : автореф. дис.... канд. техн. наук. – М., 1980. – 17 с.

7. Залесов А. С., Чистяков Е. А., Ларичева И. Ю. Новые методы расчета железобетонных элементов по нормальным сечениям на основе деформационной расчетной модели // Бетон и железобетон. – 1997. – № 5. – С. 31–34.

8. Митрофанов В. П. Прочность бетона над опасной наклонной трещиной и несущая способность железобетонных балок // Бетон и железобетон. – 1980. – № 2. – С. 37–40.

9. Горностаев И. С. Анализ и результаты экспериментальных и численных исследований деформативности железобетонных составных балок // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 4(54). – С. 3–10.

Получено 12.01.16

N. V.Klyueva, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: klynavit@yandex.ru)

S.I.Gornostaev, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: pgs_swsu@mail.ru)

TO THE QUESTION OF THE CHOICE OF SETTLEMENT MODEL FOR THE ASSESSMENT OF RIGIDITY OF REINFORCED CONCRETE DESIGNS

The actual state of a question on formation of methods of calculation of rigidity of reinforced concrete designs is considered. The main shortcomings and advantages of the existing settlement techniques are given. Ways of improvement of calculation of crack resistance of reinforced concrete frame designs taking into account a number of parameters, such as settlement scheme of an element and ratio of sizes of the operating efforts, concrete durabilities are defined at axial compression, to reinforcing, a form and the sizes of section, parameters of anchoring of fittings in concrete, etc. Need of research of multilevel process of education and development of cracks taking into account effect of violation of a sploshnost of concrete is shown.

Key words: reinforced concrete designs, physical models of resistance, mechanic of destruction, mechanic of reinforced concrete.