

УДК 624-2/9

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,
УСИЛЕННЫХ В ЗОНЕ СРЕЗА

А.С. КОЛОДИНСКАЯ, М.А. МИХНО

(Представлено: канд. техн. наук Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ)

Рассматривается описание трех групп методов расчета усиленных конструкций в зоне среза такие как методы ферменной аналогии, группа методов, связанных со статистической оценкой, группа методов, базирующаяся на равновесии внутренних усилий и внешних воздействий, а также проведенные исследования, показавшие, насколько данные методы применимы.

После повреждения конструкции требуется ее усиление. На данный момент известно различное множество методов усиления, например, увеличение поперечного сечения путем устройства наращивания, железобетонных обойм, рубашек, а также с помощью эффективной современной технологии – наклейки высокопрочных фиброармированных пластиков. В то же время мы ограничиваемся небольшим количеством методов расчета усиленных конструкций. Существует три группы методов расчета, однако по новым нормам используется лишь один метод – это метод ферменной аналогии.

При действии внешних нагрузок у железобетонных элементов выделяются две характерные зоны, которые отличаются между собой влиянием одного из действующих внутренних усилий и особенностями напряженно-деформированного состояния. В железобетонном элементе возникает изгибающий момент в пролете, а главные нормальные напряжения имеют продольную ориентацию. Бетон в сжатой зоне и арматура в растянутой находятся в одноосном напряженно-деформированном состоянии. В зоне среза, где действуют значительные поперечные усилия, под воздействием касательных напряжений главные нормальные напряжения ориентированы под углом к его продольной оси, а продольная и поперечная арматура и бетон испытывают двухосное напряженно-деформированное состояние. Существенное влияние на напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов в зоне среза оказывает комбинация продольного, поперечного усилий, а также и изгибающего момента.

Можно выделить несколько видов разрушения железобетонных элементов в зоне среза [1–3], в основном это наклонные трещины (рис. 1), сопровождающиеся дроблением бетона в сжатой зоне: разрушение в растянутой зоне вследствие текучести продольной арматуры в месте ее пересечения критической наклонной трещиной (а); потеря сцепления продольной арматуры с бетоном в зоне среза (б); разрушение по бетону сжатой зоны в вершине критической наклонной трещины (в); разрушение по наклонной трещине вследствие достижения поперечной арматурой предела текучести (г); разрушение по бетону между наклонными трещинами, например, в тавровых и двутавровых элементах с тонкой стенкой, развитыми армированными полками и значительным поперечным армированием в зоне среза (д); разрушение в результате раздробления бетона в полосе, образованной наклонными трещинами, соединяющими опорную и грузовую площадки (е), характерно для консолей и коротких элементов, с пролетом среза менее $1, 2d$, где d – рабочая высота поперечного сечения железобетонного элемента, мм.

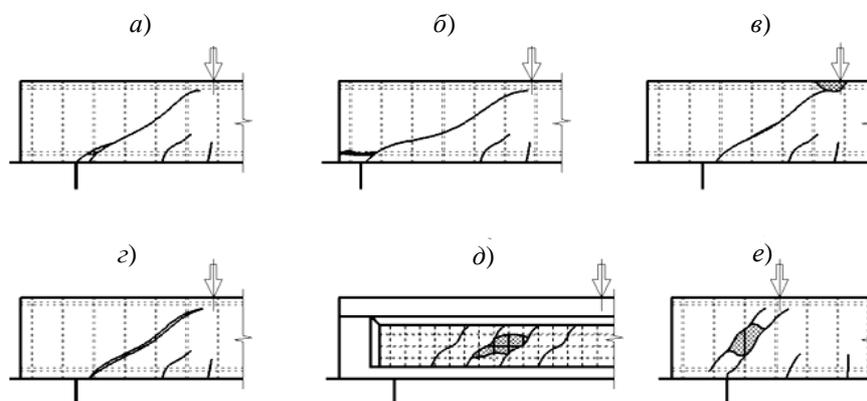


Рис. 1. Характерные виды разрушения железобетонных элементов в зоне среза

Несмотря на большое количество методов расчета, каждый из них имеет как свои преимущества, так и недостатки. Однако все они базируются на учете только одного преимущественного внутрен-

него усилия, в то время как влияние других составляющих комбинации данных усилий учитывалось косвенно. Одним из них является метод, базирующийся на равновесии внутренних усилий и внешних воздействий [4] (рис. 2). Данный метод широко используется в Беларуси из-за своей простоты и наглядности применения, а также включен в нормы проектирования.

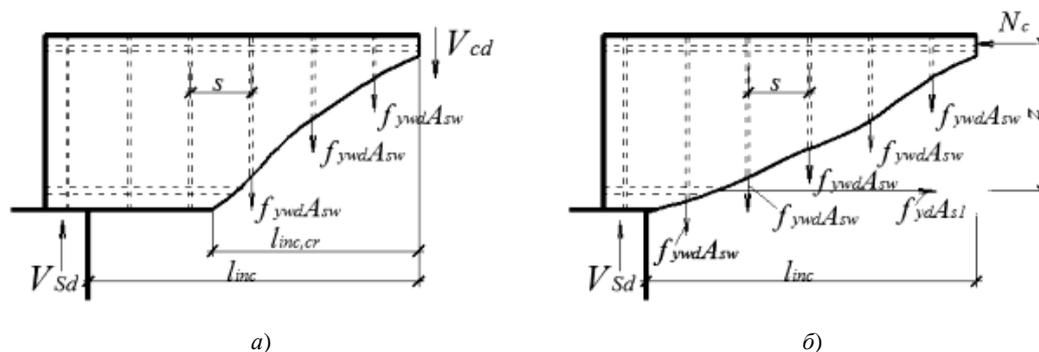


Рис. 2. Схема усилий в сечении, наклонном к продольной оси железобетонного элемента, при расчете его по прочности на действие поперечной силы (а) и изгибающего момента (б)

В рамках другого метода железобетонный изгибаемый элемент рассматривают в качестве раскосной фермы, имеющей параллельные пояса, в которой в качестве нижнего растянутого пояса выступает рабочая растянутая арматура, а в качестве верхнего сжатого – бетон в сжатой зоне. В качестве растянутых раскосов представлена поперечная арматура и отгибы, а сжатые – бетон, находящийся между двумя образованными наклонными трещинами [4] (рис. 3). Однако данный метод в ряде случаев дает заниженный результат, что приводит к перерасходу материала.



Рис. 3. Расчетная схема зоны среза изгибаемого железобетонного элемента по методу ферменной аналогии

Третья группа – это методы, связанные со статистической оценкой, основанные на большой выборке опытных данных с малым шагом варьируемых параметров. Основной проблемой данного метода является отсутствие наглядности, а также значительные затраты в проведении экспериментальных исследований [4].

Для решения поставленных задач были проведены **экспериментальные исследования** работы изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза. Для этого были запроектированы, изготовлены и испытаны вплоть до разрушения опытные образцы изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза, что позволило получить новые экспериментальные данные о характере разрушения, особенностях деформирования, образования и развития трещин изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза (в том числе под нагрузкой) при различных способах усиления, что подтвердило правильность принятых предпосылок и результатов теоретических исследований.

Усиливали элементы при помощи дополнительной предварительно напряженной арматуры, а также методом наращивания с боковых граней и установкой дополнительной арматуры соответственно. Стоит заметить, что пространство между дополнительной предварительно напряженной арматурой и старым бетоном не заполнялось. Таким образом, арматура работала без сцепления с бетоном [4].

Для сопоставления с результатами экспериментальных данных расчет прочности усиленных в зоне среза опытных образцов производился по методу предельных равновесий (по наклонной трещине),

методу ферменной аналогии, методике расчета усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов. Результаты расчета и их сопоставление с опытными данными приведены в таблице [4].

Сопоставление результатов расчета поперечного усилия V_{th} соответствующего прочности опытных образцов, с соответствующими опытными данными V_{exp}

Шифр образца	Опытные (экспериментальные) данные V_{exp} , кН	Метод предельных равновесий		Метод ферменной аналогии		Метод расчета усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов	
		V_{th} , кН	V_{exp}/V_{th}	V_{th} , кН	V_{exp}/V_{th}	V_{th} , кН	V_{exp}/V_{th}
Б-I-1	283,3	281,05	1,01	50,34	5,63	–	–
Б-II-2	482,8	398,01	1,21	143,44	3,37	–	–
Б-I-3	460,8	398,01	1,16	143,44	3,21	384	1,20
Б-II-1	244,5	252,5	0,97	50,34	4,86	–	–
Б-II-2	351,4	351,74	1,00	143,44	2,45	–	–
Б-II-3	335,6	351,74	0,95	143,44	2,34	344,7	0,97
Б-III-1	184,8	224,5	0,82	50,34	3,67	–	–
Б-III-2	315,6	323,7	0,97	143,44	2,20	–	–
Б-III-3	295,4	323,7	0,91	143,44	2,06	316,7	0,93
Б-IV-1	71,12	72,7	0,98	12,64	5,63	–	–
Б-IV-2	127,53	147,2	0,87	37,92	3,36	92,41	1,38
Б-IV-3	129,98	147,2	0,88	37,92	3,43	92,41	1,41
Б-IV-4*	112,81	159,6	0,71	37,92	2,97	–	–

В заключение исследования делаем *выводы*, что существуют различные способы усиления железобетонных элементов в зоне среза, которые повышают как трещиностойкость так и прочность элементов. Наиболее эффективные способы – это увеличение поперечного сечения в зоне среза при помощи устройств железобетонных рубашек, обойм, а также наращивание с одной или двух сторон. Также отличный результат достигается путем установки дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры в специально выполненные вертикальные каналы и закреплением по концам.

Что касается методов расчета, то из полученных данных можно сделать вывод, что наиболее приближенные результаты показал метод предельных равновесий (по наклонной трещине). Метод ферменной аналогии, в свою очередь, дает отличные от первого метода результаты. Это связано с применением в данном методе других коэффициентов, которые дают заниженный результат, приводящий к перерасходу материала, вследствие чего возникает большая надежность усиленных элементов. Однако, несмотря на использование нами метода предельных равновесий, в нормах, на которые перешли в Республике Беларусь, используется метод ферменной аналогии. Из этого можно сделать вывод, что необходима адаптация методики ферменной аналогии, либо использование применявшихся ранее методов, основанных на общей деформационной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климов, Ю.А. Теория и расчет прочности, трещиностойкости и деформативности железобетонных элементов при действии поперечных сил: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Ю.А. Климов; КОТКЗИСИ. – Киев, 1992. – 502 с.
2. Колтунов, А.И. Прочность и трещиностойкость по наклонным сечениям изгибаемых железобетонных элементов с поперечной арматурой класса Ат600с: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А.И. Колтунов; Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 1998. – 153 с.
3. Залесов, А.С. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов в зоне действия поперечных сил / А.С. Залесов, И.А. Титов // Строительные конструкции и теория сооружений. – Минск: БПИ, 1977. – Вып. 2. – С. 42 – 47.
4. Пецольд, Т.М. Методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза / Т.М. Пецольд, Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 16. – С. 40–45.