

Шеховцов И.В., к.т.н., доцент, Бондаренко А.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

## ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ НА СИЛЫ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ БАЛОК НА ОСНОВЕ ДИСКОВО-СВЯЗЕВОЙ МОДЕЛИ

Приведены результаты экспериментальных исследований сил зацепления на опытных образцах с учетом начальной технологической поврежденности. Описан характер разрушения опытных образцов при определении сил зацепления. Определена зависимость между деформациями сдвига и начальной технологической поврежденностью.

При расчете по прочности наклонных сечений на основе дисково-связевой модели разработанной Климовым Ю.А. и Залесовым А.С. [1] (см. рис. 1, 2) силы зацепления рассчитываются по следующей зависимости

$$F_{crc} = \int_0^{l_{crc}} \Delta_{crc} b G_{crc} dl \quad (1)$$

где  $l_{crc}$  - длина трещины, на которой действуют силы зацепления;

$\Delta_{crc}$  - смещение блоков в вершине критической наклонной трещины;

$G_{crc}$  - коэффициент постели сдвига бетонных поверхностей, образованных естественной трещиной и являющийся функцией раскрытия трещины;

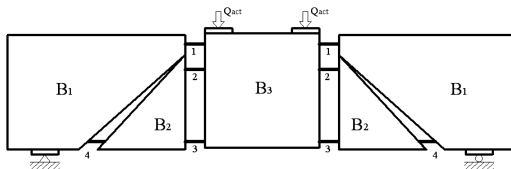


Рис. 1. Физическая модель железобетонного элемента без поперечной арматуры, работающего на восприятие поперечных сил

В работах [2, 3, 6] было установлено, что начальная технологическая поврежденность влияет на механические и деформативные характеристики бетона. При определении сил зацепления и деформаций сдвига по зависимости (1) технологическая поврежденность не учитывалась. Для определения предельных деформаций сдвига  $\Delta_{crc,u}$  и предельных

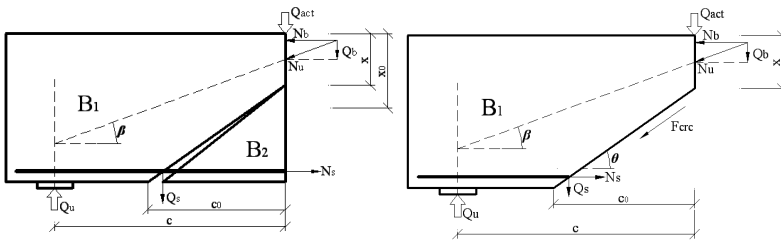


Рис. 2. Расчетная модель элемента на стадии предельного равновесия блока  $B_1$ .

касательных напряжений  $\tau_{crc,u}$  в зависимости от начальной технологической поврежденности были проведены экспериментальные исследования на опытных образцах. Состав бетона и варьируемые факторы указаны в [4].

Непосредственно перед испытанием на сдвиг опытные образцы раскалывались в срединной плоскости, с контролем ширины раскрытия трещины  $a_{crc}$ . Ширина раскрытия трещины всех испытываемых образцов была принята равной  $a_{crc} = 0,2 - 0,3$  мм. После раскола образцов образцы устанавливались в установку и испытывались на сдвиг.

При нагружении опытных образцов контролировались величины нагрузки  $F_{act}$  и соответствующих им деформации сдвига  $\Delta_{crc}$  на всем этапе нагружения вплоть до разрушения (см. Рис. 3).

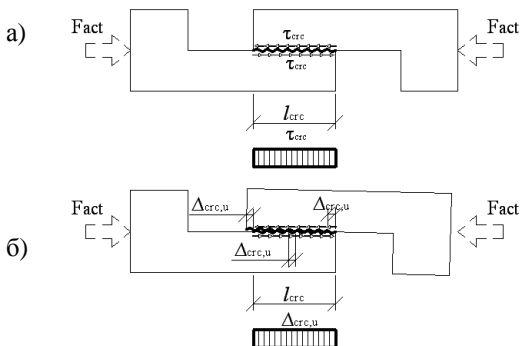


Рис. 3. К определению на специальных опытных образцах  
а) сил зацепления  $\tau_{crc}$ ; б) деформаций сдвига  $\Delta_{crc}$

Сдвиг опытных образцов всех серий в процессе нагружения имел сходный характер.

В начальный момент нагружения, при небольших касательных напряжениях наблюдаются большие подвижки. Это объясняется наличием ширины раскрытия трещины, соизмеримым с перемещением берегов трещины. Очевидно, что берега трещины вступают во взаимодействие не по всей площади поверхности, а только в ее отдельных точках. При нагружении происходит смятие бетона в этих точках. При этом во взаимодействие вступают другие зубчики. На этом этапе график носит криволинейный характер. При увеличении нагрузки график выпрямляется и носит линейный характер. Это значит, что берега трещины вступили во взаимодействие по всей возможной площади контакта, и бетон работает в упругой стадии. При исчерпании бетоном упругих деформаций, начинают развиваться пластические деформации. При этом происходит смятие отдельных зубцов. Наклонное очертание зубчиков и разложение вектора касательных напряжений на горизонтальную и вертикальную составляющие при развитии пластических деформаций дает возможность «соскользнуть» одной поверхности относительно другой, При небольшом увеличении нагрузки деформации быстро набегает и происходит разрушение отдельных зубцов и всего образца в целом.

Опытные зависимости предельных касательных напряжений сил зацепления от деформаций сдвига приведены на Рис. 4-6. Средние значения деформаций сдвига  $\Delta_{crc}$  и касательных напряжений  $\tau_{crc}$  приведены в таблице 1.

Таблица 1 Средние значения предельных деформаций сдвига  $\Delta_{crc}$  и касательных напряжений  $\tau_{crc}$

Точка плана	X1	X2	$\Delta_{crc}$ , мм	$\tau_{crc}$ , кг/см <sup>2</sup>
1	2	3	4	5
1	+1	+1	0,325	13,2
2	0	+1	0,422	13,86
3	-1	+1	0,255	12,7
4	+1	-1	0,419	7,3
5	0	-1	0,519	7,92
6	-1	-1	0,469	7,6
7	+1	0	0,396	9,9
8	0	0	0,422	11,88
9	-1	0	0,346	9,5

### **Влияние количество цемента и наполнителя на величину деформаций сдвига и касательных напряжений.**

При количестве цемента 400 кг и изменении количества наполнителя с 5 до 10 % деформации сдвига  $\Delta_{crc}$  изменяются от 0,422 до 0,255 мм (65%). При изменении количества наполнителя с 10 до 15 % деформации сдвига

$\Delta_{CRC}$  изменяются от 0,255 до 0,325 мм (27%). При этом среднее значение касательных напряжений  $\tau_{CRC}$  не превышало значения 13,86 кг/см<sup>2</sup>.

При количестве цемента 325 кг и изменении количества наполнителя с 5 до 10 % деформации сдвига  $\Delta_{CRC}$  изменяются от 0,346 до 0,422 мм (21%). При изменении количества наполнителя с 10 до 15 % деформации сдвига  $\Delta_{CRC}$  изменяются от 0,422 до 0,396 мм (7%). При этом средние значения касательных напряжений  $\tau_{CRC}$  не превышало значения - 11,88 кг/см<sup>2</sup>.

При количестве цемента 250 кг и изменении количества наполнителя с 5 до 10 % деформации сдвига  $\Delta_{CRC}$  изменяются от 0,469 до 0,519 мм (10%). При изменении количества наполнителя с 10 до 15 % деформации сдвига  $\Delta_{CRC}$  изменяются от 0,519 до 0,419 мм (24%). При этом среднее значение касательных напряжений  $\tau_{CRC}$  не превышало значения 7,92 кг/см<sup>2</sup>.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными полученными другими авторами в своих экспериментальных исследованиях.

Как видно из графиков на Рис. 4 - 6 величина предельных касательных напряжений  $\tau_{crc,u}$  в пределах одной серии образцов (при одинаковом расходе цемента) практически не меняется. Очевидно, что изменение деформаций сдвига зависит от деформативных свойств бетона опытных образцов, на которые оказывает влияние начальная технологическая поврежденность бетона.

Таким образом, возникла необходимость определить зависимость между предельными деформациями сдвига  $\Delta_{CRC,u}$  и начальной технологической поврежденностью.

Для определения зависимости между начальной технологической поврежденностью бетона и деформациями сдвига  $\Delta_{CRC}$  были взяты коэффициенты поврежденности балок  $K_{nL}$  определенные на базе измерений 31 см [5].

График зависимости между  $K_{nL}$  и деформациями сдвига  $\Delta_{CRC}$  представлен на Рис. 7.

При увеличении коэффициента поврежденности  $K_{nL}$  в пределах каждой серии (при одинаковом расходе цемента) увеличиваются деформации сдвига. Таким образом, принимая минимальные значения деформаций сдвига в каждой серии и учитывая коэффициенты технологической поврежденности, можно получить следующие зависимости:

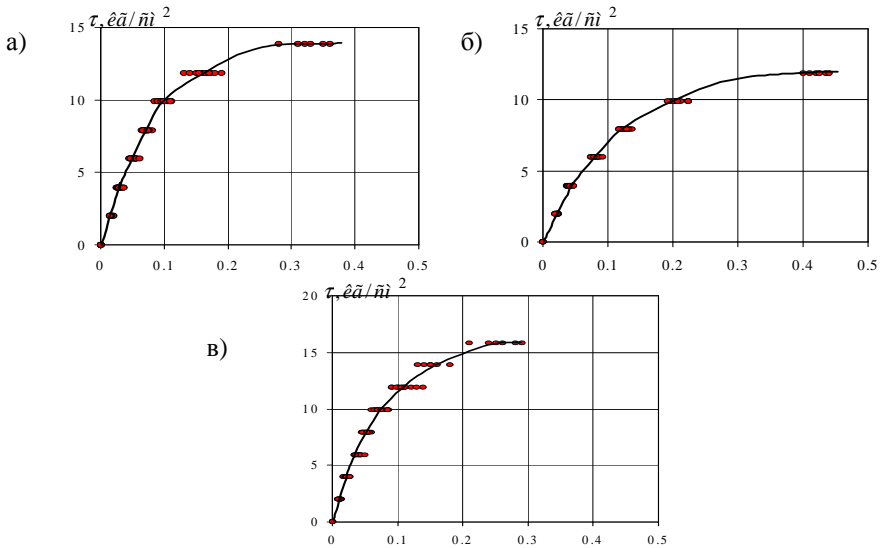


Рис 4. Опытные зависимости предельных касательных напряжений сил зацепления от деформаций сдвига  
 а) при X1=+1; X2=+1; б) при X1=0; X2=+1; в) при X1=-1; X2=+1;

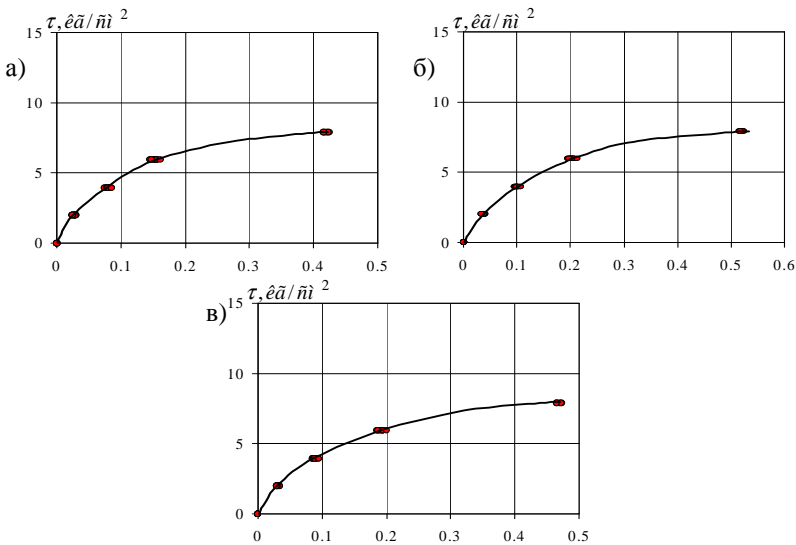


Рис 5. Опытные зависимости предельных касательных напряжений сил зацепления от деформаций сдвига  
 а) при X1=+1; X2=-1; б) при X1=0; X2=-1; в) при X1=-1; X2=-1;

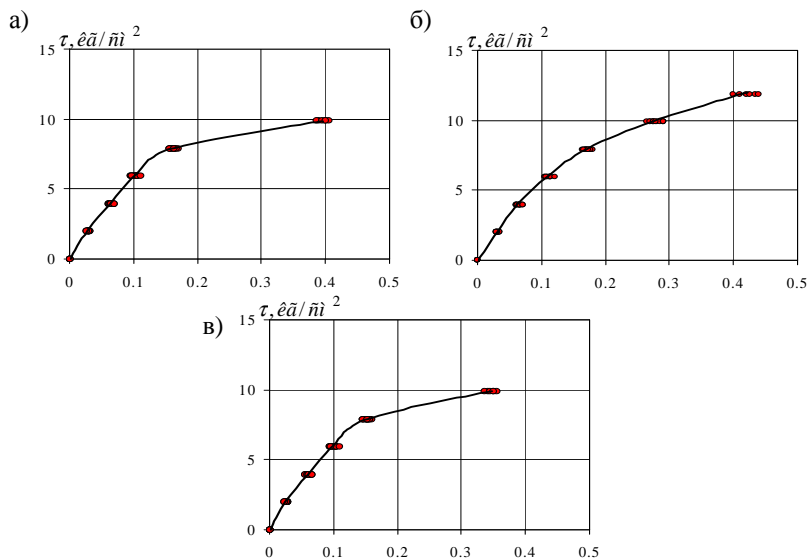


Рис. 6. Опытные зависимости предельных касательных напряжений сил зацепления от деформаций сдвига  
 а) при  $X1=+1; X2=0$ ; б) при  $X1=0; X2=0$ ; в) при  $X1=-1; X2=0$ ;

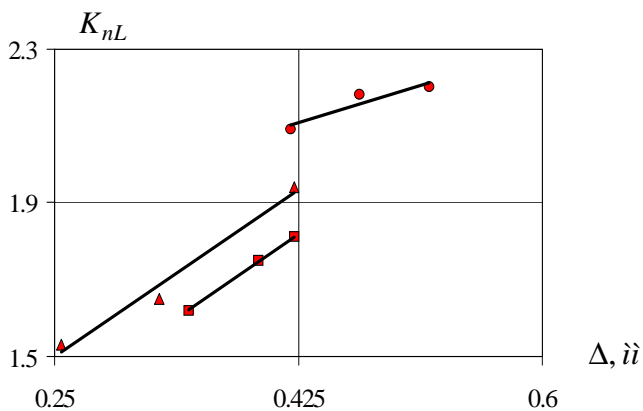


Рис. 7. Опытные зависимости предельных деформаций сдвига от начальной технологической поврежденности

- - количество цемента 250 кг;
- - количество цемента 325 кг;
- ▲ - количество цемента 400 кг;

- при расходе цемента 250 кг:  $\Delta_{crc,u} = 0,909 K_{nL}$  - 1,492
- при расходе цемента 325 кг:  $\Delta_{crc,u} = 0,398 K_{nL}$  - 0,299
- при расходе цемента 400 кг:  $\Delta_{crc,u} = 0,401 K_{nL}$  - 0,352

### **Выводы:**

- определен характер разрушения опытных образцов при определении сил зацепления;
- получены значения касательных напряжений и деформаций сдвига в трещине при испытаниях опытных образцов;
- определено влияние начальной технологической поврежденности на силы зацепления и деформации сдвига в трещине;
- получены опытные зависимости предельных деформаций сдвига от начальной технологической поврежденности при определении сил зацепления;

1. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. – К.: Будивэльнык, 1989
2. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций.- Одесса: ИМК Город мастеров, 1998.- 168 с.
3. Шеховцов И.В., Сузанская Т.А., Бондаренко А.В. Влияние начальной технологической поврежденности на длину трещины при определении сил зацепления. – Одесса., Вісник ОДАБА 2000, №1, стр. 65-69 стр.
4. Шеховцов И.В., Сузанская Т.А., Бондаренко А.В. Моделирование рельефа поверхности трещины в бетоне при определении сил зацепления. – Одесса., Вісник ОДАБА 2000, №2, стр. 20-24.
5. Бондаренко А.В. К методике проведения исследований по определению сил зацепления при различном рельефе поверхности трещины. - Одесса., Вісник ОДАБА 2000, №5.
6. Шеховцов И.В., Бондаренко А.В., Безушко Д.И. Результаты экспериментальных исследований начальной технологической поврежденности бетона призм при определении несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям с учетом сил зацепления. - Одесса., Вісник ОДАБА 2006, № 21, стр. 281-288.