

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА НА МОМЕНТЫ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

**Олейник Н.В.**, к.т.н., доцент,

**Бичев И.К.**, к.т.н., доцент,

**Лукашенко Л.Э.**, доцент,

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

natali.1727v@gmail.com

**Аннотация.** Изучены аспекты управления процессами организации структуры композиционных строительных материалов (КСМ), в том числе на различных уровнях неоднородностей, что связано с изменением качественного и количественного составов минерального вяжущего. Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований влияния структурных факторов (количества и дисперсности минерального наполнителя) на изменение моментов трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов по нормальным сечениям. Были определены факторы: дисперсность и количество наполнителя. Определена закономерность количественной оценки технологической поврежденности. Раскрыта методика определения оценки технологической поврежденности. Построены графики зависимости моментов трещинообразования от варьируемых факторов.

**Ключевые слова:** технологическая поврежденность, минеральный наполнитель, физический смысл.

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ БЕТОНУ НА МОМЕНТИ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

**Олійник Н.В.**, к.т.н., доцент,

**Бічев І.К.**, к.т.н., доцент,

**Лукашенко Л.Е.**, доцент,

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

natali.1727v@gmail.com

**Анотація.** Вивчено аспекти управління процесами організації структури композиційних будівельних матеріалів (КБМ), у тому числі на різних рівнях неоднорідностей, що пов'язано зі зміною якісного і кількісного складів мінерального в'язучого. Наведено результати експериментально-теоретичних досліджень впливу структурних факторів (кількості і дисперсності мінерального наповнювача) на заміну моментів тріщиноутворення залізобетонних елементів, що згинаються по нормальним перерізам. Були визначені фактори: дисперсність і кількість наповнювача. Визначено закономірність кількісної оцінки технологічної пошкодженості. Розкрито методику визначення оцінки технологічної пошкодженості. Побудовано графіки залежності моментів тріщиноутворення від варійованих факторів.

**Ключові слова:** технологічна пошкодженість, мінеральний наповнювач, фізичний зміст.

## INFLUENCE OF CONCRETE TECHNOLOGICAL DAMAGE AT THE MOMENTS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS CRACKING

**Oliinyk N.V.**, Ph.D., Assistant Professor,

**Bichev I.**, Ph.D., Assistant Professor,

**Abstract.** The aspects of managing the processes of composite building materials structure arrangement (CBM) including at different levels of heterogeneity are studied and are associated with changes in the qualitative and quantitative compositions of the cementing material.

Scientists who previously dealt with the investigated issue are represented. The research task is defined, and it consists in the fact that it is necessary to determine the influence of structural factors on the change of the moments of bent reinforced concrete elements crack growth along normal sections. The factors were determined: the dispersion and the amount of filler. The physical meaning is revealed, it consists in estimating the specific length of surface cracks, manifested on a unit both in surface and in length. In determining the coefficients of technological damage of the beams, two lines were drawn on two sides of the beam: three vertical ones in the zone of simple bending, four inclined in the zone of joint action of the bending moment and transverse force- four inclined. The results of experimental and theoretical studies of the structural factors effect (the amount and disparity of the mineral dust) on the change of the moments of bent reinforced concrete elements crack growth along normal sections are presented. The analysis of technological damage influence on the moments of experimental beams fracture was carried out, and the regularity of the quantitative evaluation of technological damage was determined. The technique for determining the evaluation of technological damage is discovered. The diagrams of the dependence of the crack growth moments from the variable factors are constructed.

**Key words:** technological damage, mineral dust, physical meaning.

**Введение.** Повышение эффективности бетонных и железобетонных изделий и конструкций связано с реализацией потенциальных возможностей бетона, как сложноорганизованного композиционного материала. Управление процессами организации структуры композиционных строительных материалов (КСМ) возможно на различных уровнях неоднородностей и связано с изменением качественного и количественного составов минерального вяжущего [1–5]. Введение в состав бетонной смеси в качестве наполнителя молотого кварцевого песка позволяет наряду с понижением материалоемкости изделий обеспечивать требуемые свойства бетона [1].

**Анализ последних исследований.** Исследования влияния технологической поврежденности на работу железобетонных элементов проводились учеными: Выровым В.Н., Соломатовым В.И., Залесовым А.С., Дорофеевым В.С., Макаровой С.С., Сиренко А.В. и другими учеными. Анализ исследований на образцах небольших размеров (призмы, кубики) [1-5] не позволяют сделать выводы о влиянии изменения в составе бетона количества и качества (дисперсности) минерального наполнителя на прочностные характеристики изгибаемых элементов, в частности – моменты разрушения.

**Цель работы.** Определение влияния структурных факторов (количества и дисперсности минерального наполнителя) на изменение моментов трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов по нормальным сечениям.

**Основная часть.** Характер трещинообразования и развития трещин в железобетонных изгибаемых элементах оказывает влияние на их деформации, прогибы и несущую способность.

Разрушение материала всегда связано с накоплением повреждений начальной структуры бетона на разных уровнях и поглощением энергии деформации, с последующим выделением ее на поверхность вновь образованных трещин разрушения.

Процесс накопления повреждений относительно длителен, и не идет ни в какое сравнение со временем действия собственно самого разрушения, носящего катастрофический характер. Именно процесс накопления повреждений определяет ход и кинетику разрушения, намечает пути развития магистральных трещин, разделяющих

материал на части. Через некоторое время после этого на поверхности бетона наблюдается появление магистральных трещин, интенсивно развивающихся в длину и ширину, и их соединение, следствием которого является разделение бетонного элемента на отдельные элементы, не способные воспринимать действующую на элемент нагрузку.

При анализе результатов [1] выделено оптимальное количество и дисперсность минерального наполнителя (молотого кварцевого песка). В связи с этим в данной работе приняты: дисперсность – 100, 200, 300 м<sup>2</sup>/кг и количество наполнителя – 8, 10, 12% от количества цемента с целью изучения влияния этих показателей на изменение предельных моментов железобетонных изгибаемых элементов (балок).

С целью исследования влияния количества и качества минерального наполнителя на изменение предельных моментов были изготовлены 9 железобетонных балок различных составов с таким расходом материалов на 1 м<sup>3</sup>: цемент – 350 кг, песок – 700 кг, щебень – 1100 кг, В/Ц = 0,4. В качестве наполнителя применялся мелкий кварцевый песок, предварительно размолотый в шаровой мельнице до заданной удельной поверхности. Введение наполнителя непосредственно в состав бетонной смеси было выполнено в процессе ее приготовления. Опытные изгибаемые элементы армировались сварными пространственными каркасами с продольной рабочей арматурой периодического профиля класса А400С и диаметром 10 мм (рис. 1).

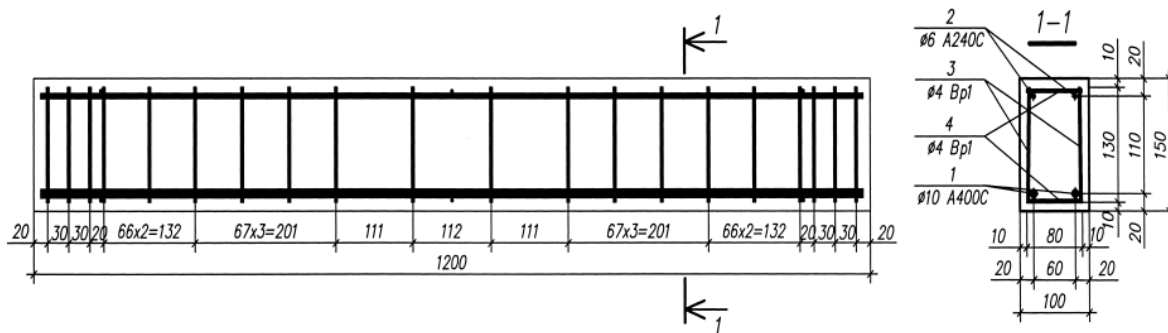


Рис. 1. Схема армирования

Балки испытывались на изгиб по статической схеме как однопролетные, свободно опертые, нагруженные сосредоточенными силами, расположенными в третях пролета. Схема нагружения представлена на рис. 2.

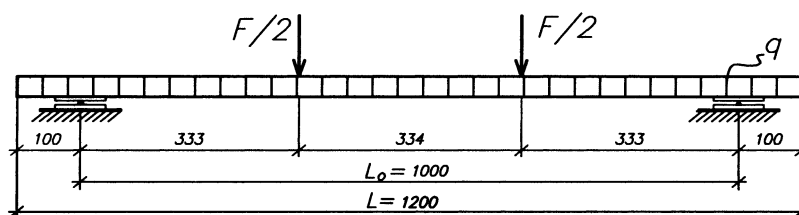


Рис. 2. Схема нагружения

Для определения коэффициентов технологической поврежденности на двух гранях каждой балки были начерчены линии: в зоне чистого изгиба – по три вертикальные, в зоне совместного действия изгибающего момента и поперечной силы – по четыре наклонные, а также выделены участки 15 × 15 см на боковых гранях балок на участках, граничащих с арматурой (рис. 3, а, б).

Количественная оценка технологической поврежденности определялась измерением длин поверхностных трещин курвиметром с точностью до 1 мм. Коэффициент технологической поврежденности по площади ( $K_{лс}$ ) определялся как отношение суммы длин поверхностных трещин ( $T_0$ ), измеренных в пределах участка 10 × 10 см, к площади этого участка ( $S$ ):

$$Kn_s = \sum T_0 / S, [\text{см}/\text{см}^2]. \quad (1)$$

Физический смысл заключается в оценке удельной длины поверхностных трещин, проявленных на единице поверхности.

Коэффициент технологической поврежденности по линии ( $Kn_L$ ) принят как отношение длины характерной линии ( $L$ ), пересекающей структурные блоки, ограниченные технологическими трещинами, к сумме длин этих примыкающих трещин ( $T_0$ ) с одной стороны:

$$Kn_L = L / \sum T_0, [\text{см}/\text{см}]. \quad (2)$$

Физический смысл заключается в оценке удельной длины поверхностных трещин, проявленных на единице длины. При введении коэффициента технологической поврежденности по линии ( $Kn_L$ ) придерживались наглядности, то есть, с увеличением поврежденности (уменьшением структурных блоков (ячеек) и, следовательно,  $\sum T_0$ , приходящихся на характерную линию ( $L$ )), увеличивается  $Kn_L$ .

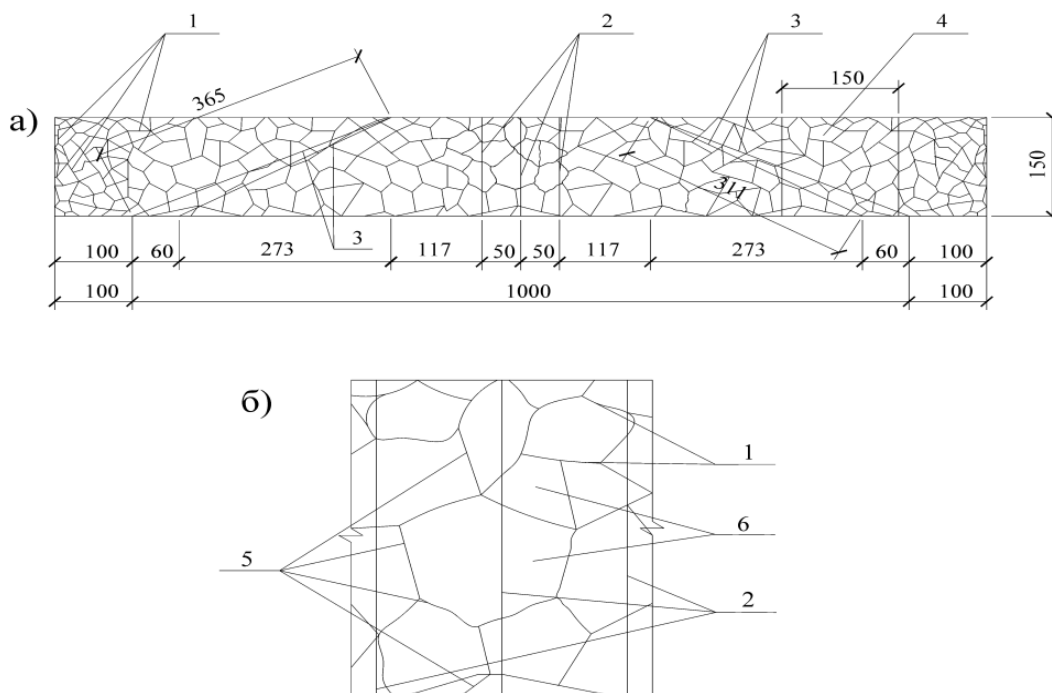


Рис. 3. Методика оценки технологической поврежденности по железобетонным балкам:  
 а – расположение характерных линий и площади на образце-балке с проявленным характером поврежденности; б – фрагмент определения коэффициента поврежденности по характерной линии (в поперечном сечении): 1 – технологические трещины; 2, 3 – поперечные и наклонные характерные линии для определения коэффициента поврежденности по линии ( $Kn_L$ ); 4 – площадь для определения коэффициента поврежденности по площади ( $Kn_s$ ); 5 – технологические трещины, образующие ячейки, которые пересекает характерная поперечная линия ( $L$ ); 6 – структурные блоки

В таблице 1 приведены дисперсность и количество молотого кварцевого песка в процентах от массы цемента для каждого исследуемого состава, а также полученные по образцам – балкам коэффициенты технологической поврежденности. В таблицу 2 сведены величины внутренних усилий трещинообразования и разрушения балок.

На рис. 4 представлены зависимости моментов трещинообразования экспериментальных балок от технологической поврежденности, определенных по поперечным и наклонным сечениям балок, а также выделенным площадям, и выраженной через коэффициент технологической поврежденности  $Kn_s$  и  $Kn_L$ .

Таблица 1 – Коэффициенты технологической поврежденности ( $Kn_S$ ,  $Kn_L$ ), определённые по балкам

№ состава	Количество наполнителя $H$ , %	Дисперсность, $\text{м}^2/\text{кг}$	Поперечное сечение ( $L_l = 15$ см) $Kn_L$ , см/см	Наклонное сечение ( $L_l = 36,5$ см) $Kn_L$ , см/см	Наклонное сечение ( $L_l = 31,1$ см) $Kn_L$ , см/см	Площадь ( $S = 225$ см <sup>2</sup> ) $Kn_S$ , см/см <sup>2</sup>
1	8	100	0,381	0,400	0,415	1,21
2		200	0,312	0,388	0,393	1,13
3		300	0,271	0,306	0,329	0,76
4	10	100	0,300	0,280	0,303	0,96
5		200	0,278	0,314	0,326	0,94
6		300	0,261	0,273	0,290	0,61
7	12	100	0,307	0,347	0,354	1,15
8		200	0,321	0,353	0,364	0,99
9		300	0,310	0,279	0,292	0,72

Таблица 2 – Моменты трещинообразования и разрушения экспериментальных балок

№ состава	$H$ , %	$S_y$ , $\text{м}^2/\text{кг}$	$M_u^{расч.}$ , Н × м	$M_{срс}^{эксп.}$ , Н × м	$M_u^{эксп.}$ , Н × м
1	8	100	6832,02	2096	11190
2		200	6861,88	1833	11239
3		300	6880,53	1546	11988
4	10	100	6882,88	2009	11588
5		200	6884,82	1551	11655
6		300	6905,54	1462	11822
7	12	100	6859,68	1462	11239
8		200	6874,62	1509	11855
9		300	6888,48	1636	11655

Анализируя влияние технологической поврежденности на моменты разрушения экспериментальных балок, прослеживается следующая тенденция: максимальные значения момента наблюдаются для наклонных сечений при  $Kn_L = 0,275 - 0,32$ , для поперечных – при  $Kn_L = 0,261$  и для выделенных площадей  $Kn_S = 0,7 - 0,8$ . Минимальные значения – для наклонных сечений при  $Kn_L = 0,4 - 0,415$ , для поперечных – при  $Kn_L = 0,381$  и для выделенных площадей  $Kn_S = 1,21$ .

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что с увеличением коэффициентов поврежденности моменты разрушения экспериментальных балок уменьшаются.

Сделанные выводы позволяют, по нашему мнению, назначать составы с заранее заданными прочностными свойствами. Это, в свою очередь, может более полно и целенаправленно использоваться для определения рациональных решений в применении материалов для изгибаемых элементов.

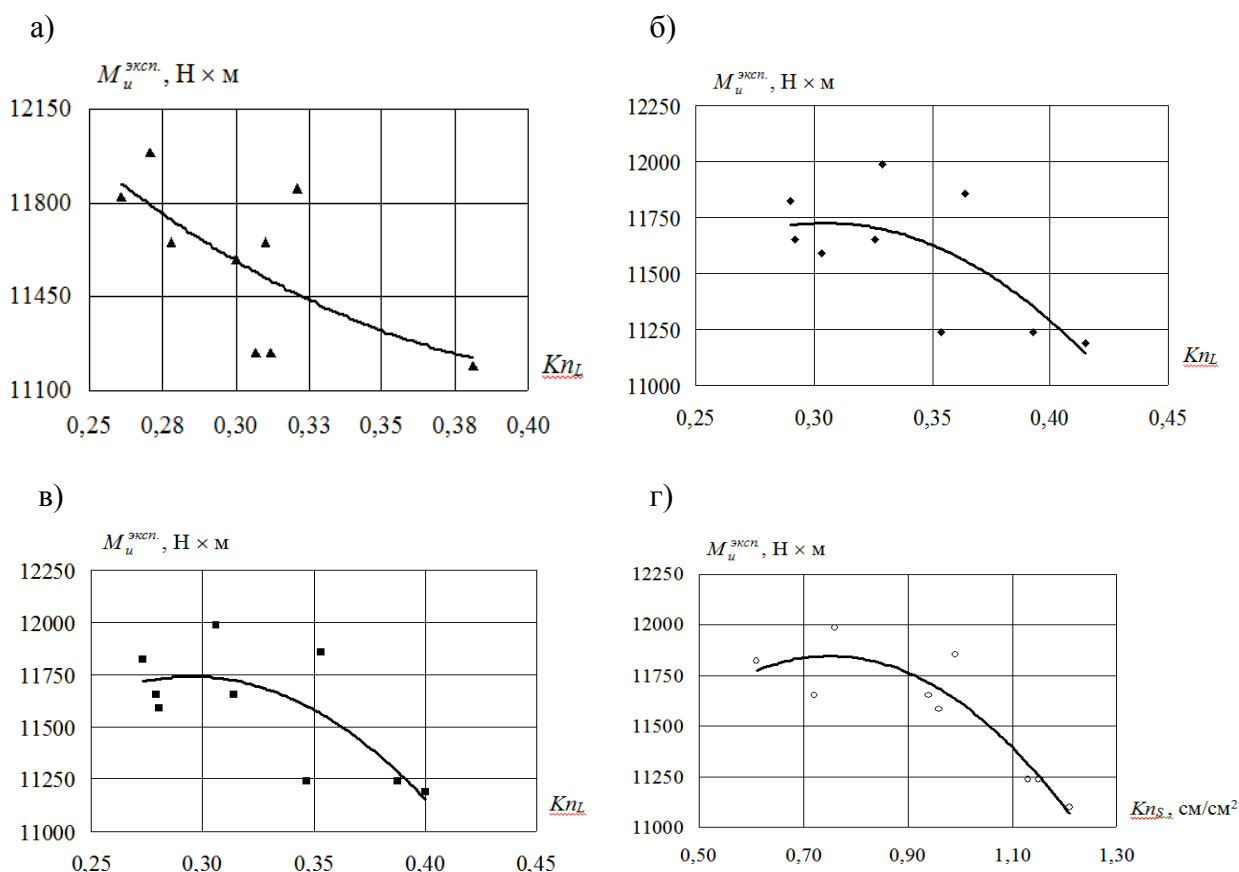


Рис. 4. Влияние на моменты трещинообразования технологической поврежденности, выраженной через коэффициент  $Kn_I$ , определенный в поперечных (а) и наклонных сечениях балок 31,1 см (б) и 36,5 см (в); а также через коэффициент  $Kn_S$ , определенный по выделенным площадям (г) экспериментальных балок

## Литература

1. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций: Монография / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой. – О.: Город мастеров, 1998. – 168 с.
2. Соломатов В.И. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К.: Будивэльник, 1991. – 144 с.
3. Дорофеев В.С. Технологическая наследственность композиционных строительных материалов и конструкций: Учеб. пособие / В.С. Дорофеев. – К.: УМК ВО, 1992. – 52с.
4. Выровой В.Н. Технологическая механика композиционных материалов / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев. – Киев: Общество “Знание Украины”, 1991. – 19 с.
5. Макарова С.С. Влияние наполнителей на технологическую поврежденность и формирование свойств конструкционных бетонов: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Макарова Светлана Серафимовна. – Одесса, 1993. – 146 с.
6. Гладышев Б.М. Механическое взаимодействие элементов структуры и прочность бетонов: Монография / Б.М. Гладышев. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 168 с.
7. Залесов А.С. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям / А.С. Залесов, Э.Н. Кодыш, Л.Л. Лемыш, И.К. Никитин. – М.: Стройиздат, 1988. – 320 с.
8. Соломатов В.И. Технологическая поврежденность композиционных строительных материалов и конструкций / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, А.С. Залесов, В.С. Дорофеев // Транспортное строительство. – 1990. – №7. – С. 39-40.

Стаття надійшла 14.06.2017