

УДК 691.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ДВУХОСНОМ СЖАТИИ*С.Н. Маклакова, М.А. Галкина, В.Н. Бровкин**Костромская государственная сельскохозяйственная академия
(п. Караваново, Костромская область)*© Маклакова С.Н., Галкина М.А.,
Бровкин В.Н., 2022

Аннотация. Основной задачей настоящего исследования являлось установление критериев количественной оценки прочности и деформативности бетона. Вследствие этого особое внимание было уделено фиксации разрушающего усилия, измерениям предельного линейного перемещения (для вычисления деформаций и величины деформационного критерия) и поддерживающего усилия.

Ключевые слова: бетон, железобетон, деформация, усадка бетона, площадь, поперечное сечение.

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-23-28

При обычных условиях бетон является хрупким материалом, вследствие этого получаемые предельные линейные перемещения невелики и точность измерений принимают с погрешностью 0,05 от номинального размера. При затвердении бетона происходит усадка от 0,5 до 1 % (величина колеблется в зависимости от размера зерен заполнителя). Усадка бетона при твердении обычно равна 0,2–0,4 мм/м, поэтому на 100 мм образца усадка составляет в среднем около 0,03 мм, что по деформации в абсолютных единицах равно 0,0003.

По сравнению с предельной линейной деформацией бетона при сжатии, равной 0,002, полученная величина отличается на порядок, однако в отдельных случаях имеются исключения. Коэффициент усадки изменяется в зависимости от класса бетона и влажности окружающей среды. При твердении в воздушной среде, как правило, происходит усадка; при твердении в условиях избытка воды вероятно набухание. Принимая во внимание изложенное, вычислим погрешность, с которой надо определять линейный размер образца. Согласно дифференциальному методу определения погрешности вычислений по произвольной формуле, для площади поперечного сечения кубического образца погрешность будет определяться в виде [1]

$$F = a^2,$$

где a – размер поперечного сечения.

Тогда относительная погрешность

$$\Delta F / F = 2\Delta a / a,$$

т. е. ошибка в определении площади поперечного сечения в 2 раза больше ошибки определения линейного размера. Иначе говоря, если линейный размер измерен с точностью до 0,05 мм, то площадь не может быть вычислена с точностью меньшей, чем

0,1 мм². При абсолютной величине площади в 100 мм² ошибка ее определения не превышает 0,1 %. Такая точность вполне приемлема, поэтому измерения исходных линейных размеров выполняли штангенциркулем с ценой деления 0,05 мм. Расчет величины усилия, разрушающего образец, выполняли по шкале силоизмерителя испытательного пресса, цена деления которого при шкале А равна 50,0 Н и не превышает 1 % от измеряемой максимальной нагрузки. Таким образом, все основные требования были выполнены, результаты испытаний приведены в таблице.

Результаты испытаний образцов из бетона В15

Класс бетона	Фракция заполнителя (песка), мм	Размеры образца $a \times b$, мм	Площадь образца S , см ²	Высота образца H , мм	Разрушающая нагрузка, кН	Класс бетона (заполнитель – песок)
В15	2,5	101×100	101	100	1 968	98
		100×100,5	105	99,5	2 022	99
		101×100	101	100	1 985	99
		99×99	98,01	99	1 994	98
		99×99,5	98,5	100,5	2 111	98
		99×99	98,01	99,8	2 055	99,5
Среднее значение		–	–	–	2 022	–
В15	1,25	99×97	96,03	102	1 956	97,5
		100×99	99	102	1 988	99,5
		99×99	98,01	100	1 996	97
		100×99	99	101	2 005	99
		99×99	98,01	102	1 971	99
		100×99,7	99,7	101	1 985	99,5
Среднее значение		–	–	–	1 983	–
В15	0,63	100×100,5	105	99,8	1 969	99
		99×99	98,01	101	1 995	99
		99×98	97,02	100	1 971	98
		99×99,5	98,5	100	1 979	97
		99×100	99	101	1 982	98
		99×99	98,01	101	1 969	99,5
Среднее значение		–	–	–	1 977	–

Как следует из таблицы, высота образцов с большим размером заполнителя была менее стабильна (имели место пустоты около зерен крупного заполнителя). Внешний вид разрушенных образцов приведен на рисунке.



а



б



в

Внешний вид образцов из бетона класса В15, разрушенных при испытаниях в условиях двухосного сжатия с граничным трением:
а – образец с зерном 2,5 мм; б – образец с зерном 1,25 мм;
в – образец с зерном 0,63 мм

Указанное явление может быть связано с неполным («точечным») контактом плиты испытательного пресса с выступающими (после усадки цементного камня) частями зерен крупного заполнителя. Несмотря на влияние перечисленных факторов, предельная деформация бетона В15 при различных размерах заполнителя колебалась в среднем около 1,5–2,5 %, что существенно выше величин, получаемых при так называемом одноосном сжатии. Это в некоторой мере объясняется тем, что при двухосном сжатии существенно возрастает величина компонентов шарового тензора, вследствие чего повышаются пластические свойства бетона за счет влияния гидростатической составляющей.

Если принять величину модуля поперечной деформации как при одноосном нормативном сжатии ($\nu = 0,2$), то предельная линейная деформация при двухосном сжатии может быть определена по формуле

$$\nu = \left| \frac{\sum \varepsilon_{\text{поп}}}{\varepsilon_{\text{прод}}} \right|,$$

где $\sum \varepsilon_{\text{поп}}$ – суммарная поперечная деформация сжатия от совместного действия сил P_{oc} и P_b ; $\varepsilon_{\text{прод}}$ – продольная деформация в направлении нормали к свободным граням.

Таким образом, максимальная линейная деформация, возникающая в направлении нормали к свободным граням, может быть определена в виде

$$\varepsilon_{\text{прод}} = \varepsilon_{\text{max}} = \varepsilon_1 = \left| \frac{\sum \varepsilon_{\text{поп}}}{\nu} \right|.$$

Удлинение волокна, испытывающего такую деформацию, определяется по формуле

$$\Delta l_{\text{пред}} = B - B_0 = \varepsilon_{\text{прод}} \cdot B_0,$$

где $B - B_0$ – удлинение максимального растянутого волокна; B_0 – первоначальная длина волокна; $\Delta l_{\text{пред}}$ – предельная величина удлинения волокна.

Рассчитанная величина $\varepsilon_{\text{прод}}$ может служить критерием для оценки предельного состояния исследуемого материала. Величина $\Delta l_{\text{пред}}$ является максимальной предельной величиной, характеризующей и свойства материала, и геометрические размеры образца, поэтому в качестве критерия она принята быть не может.

Таким образом, испытания образцов из бетона В15 показали, что деформационный критерий может быть использован в качестве предельной меры деформирования материала, однако при этом геометрические параметры образца вносят некоторые нежелательные составляющие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ18105-2010. *Бетоны. Правила контроля и оценки прочности*. М.: Стандартинформ. 2013. 24 с.
2. Гурешидзе Г.Г., Долидзе К.Г., Качкачишвили Н.О. Методика исследований прочности и трещиностойкости легких бетонов // *Бетон и железобетон*. 2009. № 5. С. 16–18.

3. Жидков А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементарного моделирования. Нижний Новгород: ННГУ. 2006. 116 с.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ. 2011. 528 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МАКЛАКОВА Светлана Николаевна – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА», 156530, Костромская область, Костромской район, пос. Караваево, Караваевская с/а, Учебный городок, д. 34. E-mail: *aviapetra@mail.ru*

ГАЛКИНА Марина Александровна – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА», 156530, Костромская область, Костромской район, пос. Караваево, Караваевская с/а, Учебный городок, д. 34. E-mail: *aviapetra@mail.ru*

БРОВКИН Павел Николаевич – генеральный директор ООО «Стройка», 156000, г. Кострома, ул. Гагарина, д. 21.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Маклакова С.Н., Галкина М.А., Бровкин В.Н. Исследование прочности бетона при двухосном сжатии // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 1 (13). С. 23–28.

STUDY OF CONCRETE STRENGTH UNDER BIAXIAL COMPRESSION

S.N. Maklakova, M.A. Galkina, V.N. Brovkin
Kostroma State Agricultural Academy
(Karavajevo, Kostroma region)

Abstract. The main objective of this study was to establish criteria for quantifying the strength and deformability of concrete. As a result, special attention was paid to the fixation of the destructive force, measurements of the limiting linear displacement (for calculating deformations and the magnitude of the deformation criterion) and the supporting force.

Keywords: concrete, reinforced concrete, deformation, concrete shrinkage, area, cross section.

REFERENCES

1. GOST 18105-2010. *Betony. Pravila kontrolya i ocenki prochnosti* [Concrete. Strength control and evaluation rules]. Moscow: Standartinform. 2013. 24 p.
2. Gureshidze G.G., Dolidze K.G., Kachkachishvili N.O. Procedure for studies of strength and crack resistance of light concrete. *Beton i zhelezobeton*. 2009. No. 5, pp. 16–18. (In Russian).
3. Zhidkov A.V. *Primenenie sistemy ANSYS k resheniyu zadach geometricheskogo i konechno-elementarnogo modelirovaniya* [Application of ANSYS system to solving problems of geometric and finite-elementary modeling]. Nizhnij Novgorod: NNGU. 2006. 116 p.
4. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Concrete technology]. Moscow: ACB. 2011. 528 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

MAKLAKOVA Svetlana Nikolaevna – Senior Lecturer of the Department of Building Structures, Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavajevo, Kostroma region, 156530, Russia.
E-mail: *aviapetra@mail.ru*

GALKINA Marina Aleksandrovna – Senior Lecturer of the Department of Building Structures, Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavajevo, Kostroma region, 156530, Russia.
E-mail: *aviapetra@mail.ru*

BROVKIN Pavel Nikolaevich – General Director of LLC «Stroika», 21, Gagarina St, Kostroma region, 156000, Russia.

CITATION FOR AN ARTICLE

Maklakova S.N., Galkina M.A., Brovkin V.N. Study of concrete strength under biaxial compression // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 1 (13), pp. 23–28.

УДК 69.04**МОДЕЛЬ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА*****С.В. Черемных****Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Черемных С.В., 2022

Аннотация. В статье рассматривается контактная задача определения напряжений и деформаций в статически неопределимых железобетонных элементах с трещинами. Расчетная схема представляется в виде системы блоков, разделенных трещинами и связанных между собой сжатой зоной бетона и растянутой арматурой. Усилия в сечении с трещиной определяются из решения уравнений метода сил, а все перемещения вычисляются на основе метода Мора или способа Верещагина. Устанавливаются различные положения трещины, при которых определяется такое ее положение, когда напряженно-деформированное состояние конструкции наиболее неблагоприятно как по прочности, так и по деформациям. На основании вычислений сравниваются значения, рассчитанные представленным в статье методом, и решения, выполненные согласно нормативной документации.

Ключевые слова: метод сил, деформация, железобетонный элемент, растянутая арматура, сжатый бетон, трещины, метод Мора.

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-28-38**ВВЕДЕНИЕ**

Одним из способов ускорения научно-технического прогресса в строительстве является повышение прочности бетона и оптимизация его деформативных свойств. По этому поводу написано множество научных трудов, в которых теории и предположения подтверждены экспериментально и вычислительно [1–8].