

способ проектирования изделия согласно ТКП EN требует избыточного количества растянутой арматуры.

Параллельно с этим, цель такого исследования - выяснить, дает ли усадка напряжение сжатия в стали достаточной величины, чтобы оправдать снижение требований к конструкциям на растяжение.

УДК 691.328

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ НАБУХАНИЯ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

СЕМЕНЮК С. Д., РЖЕВУЦКАЯ В. А.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Аннотация. До настоящего времени лабораторные исследования деформаций набухания тяжелого бетона показали, что от набухания в сооружениях могут возникнуть значительные сжимающие напряжения. Учет этих дополнительных напряжений, возникающих в конструкциях, позволил бы уточнить методики расчета конструкций, в частности конструкций из керамзитобетона, а также определить влияние деформаций набухания на напряженно-деформированное состояние всего сооружения в целом. С этой целью планируется провести экспериментальные и теоретические исследования на набухание образцов в виде цилиндров из керамзитобетона.

Введение. Набухание бетона обусловлено адсорбцией воды цементным камнем, так как молекулы воды обладают расщепляющим действием и, следовательно, уменьшают межмолекулярные силы. В то же время, вода может вызывать уменьшение поверхностного натяжения материала, вследствие чего также может происходить некоторое расширение бетона. Процесс набухания может сопровождаться увеличением бетонного веса на величину примерно около 1%. При набухании же цементного камня в керамзитобетоне на участках максимального сближения зерен заполнителя возникают напряжения сжатия, уменьшающие напряжения растяжения, вызванные усадкой, и содействуют закрытию трещин, которые образовались в процессе усадки бетона. Следует отметить, что тенден-

ция легкого бетона к усадке при насыщении зерен водой снижается. В случае отдачи влаги цементному камню заполнитель сжимается до исходного объема и как, следствие этого, усадка бетона возрастает, а трещиностойкость цементного камня в нем повышается [1].

Особенности набухания керамзитобетона. И.А. Иванов и Н.И. Макридин установили, что после длительного насыщения в воде расширение зерен керамзита составляет 1,5–1,9 мм/м, а при высушивании их остаточная деформация оказывается еще более значительной [6]. По получившимся у авторов расчетам, оказалась, что напряжения в керамзите значительно превысили прочность на его разрыв, в то время как признаков разрушения не наблюдалось. На основании проведенных опытов И.А. Иванов и Н.И. Макридин пришли к выводу, что существенное предварительное напряжение керамзита можно объяснить двумя факторами. Во-первых, это факт небольших объемных изменений у естественных пористых заполнителей при увлажнении и высушивании. Во-вторых, это факт неординарного температурного поля в керамзитовых зернах в процессе охлаждения, вследствие чего объемные деформации будут неодинаковыми (в наружных слоях гранул керамзита возникают напряжения растяжения, а внутренняя зона оказывается сжатой). Можно сделать вывод, что в зернах пористых искусственных заполнителей, которые подверглись после термической обработки быстрому охлаждению, может проследиваться преднапряженное состояние.

Легкое изменение объема в стесненных условиях легко вызывает растягивающее напряжение и приводит к распространению микротрещин [6], которые могут ухудшить долговечность и производительность бетонных конструкций. Следовательно, необходимо развитие новых технологий, которые помогают смягчить эти негативные последствия.

Бетонные образцы, которые длительно хранились в условиях определенной относительной влажности и затем были помещены в воду или в условия более высокой влажности, претерпевают деформации набухания, т. е. увеличение объема и веса [1]. Это набухание обусловлено адсорбцией воды цементным камнем: молекулы воды обладают расклинивающим действием и уменьшают межмолекулярные силы. Кроме того, вода вызывает уменьшение поверхностного натяжения материала, вследствие чего также происходит некоторое расширение бетона.

Влияние условий твердения до высушивания, а также карбонизации, на влажностные деформации бетона позволяет объяснить некоторые расхождения и наличие сложных зависимостей между усадкой и деформациями набухания. Влажностные деформации легкого бетона больше, чем у бетона на тяжелом заполнителе. Если период хранения в воде достаточно продолжителен, то дополнительная гидратация цемента приводит к некоторому набуханию, которое накладывается на обратимые деформации, обусловленные попеременным увлажнением и высушиванием [6].

Планируемые исследования опытных образцов. Для проведения экспериментов планируется изготовить 3 серии керамзитобетонных образцов. Образцы для определения кубиковой прочности – 9 кубов с размерами ребра 150 мм, для определения цилиндрической прочности – 9 цилиндров диаметром 150 мм высотой 300 мм. Определение деформативных характеристик керамзитобетона будет осуществляться на призмных образцах размерами 150x150x400 мм (рис. 1, 2).

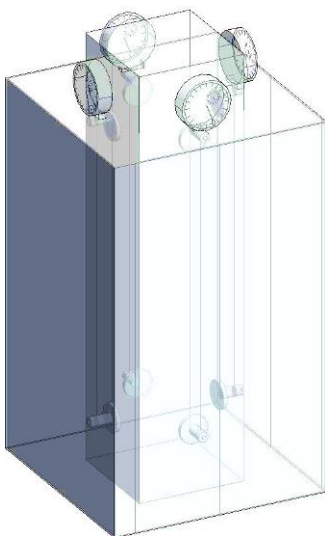


Рис. 1. Керамзитобетонный образец для измерения набухания

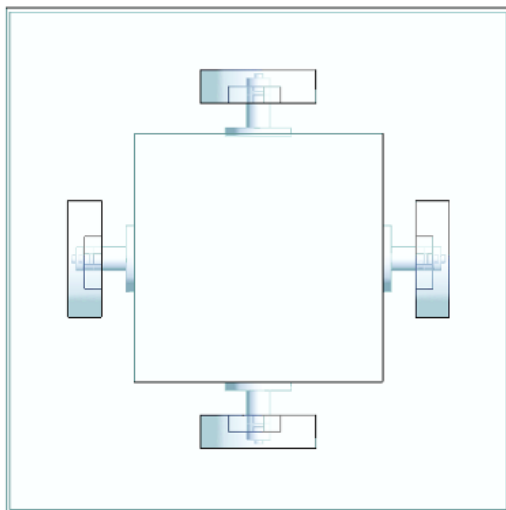


Рис.2. Керамзитобетонный образец для измерения набухания (вид сверху)

Материалы для изготовления керамзитобетонных образцов: гравий керамзитовый фракций 5–10 мм и 10 – 20мм; мелкий заполнитель – песок природный с модулем крупности $M_{кр}=1,8$; вяжущее – портландцемент ОАО «Белорусский цементный завод» марки М 500.

Подбор состава для керамзитобетонных смесей будет подбираться в соответствии с [4].

Испытание призм на кратковременное центральное сжатие для определения прочностных характеристик необходимо провести в полном соответствии с требованиями [3]. При испытании продольные деформации будут измеряться индикаторами часового типа с ценой деления 0,01мм, установленными вдоль оси по четырем граням призм. Поперечные деформации будут измеряться индикаторами часового типа с ценой деления 0,001мм (Рис. 3, 4, 5). Продольные и поперечные деформации по каждой отдельной призме (по показаниям четырех приборов механического действия) усредняются. При отдельных отсчетах, резко отличавшихся от среднего, эти отсчеты и соответствующие им деформации по отдельным приборам из обработки опытных деформаций исключаются.

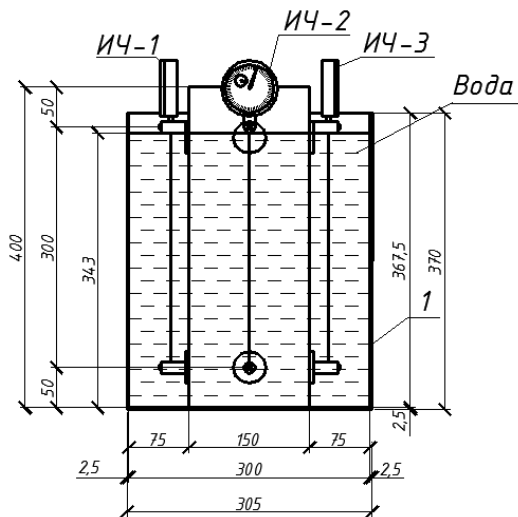


Рис. 3. Схема для измерения набухания керамзитобетона

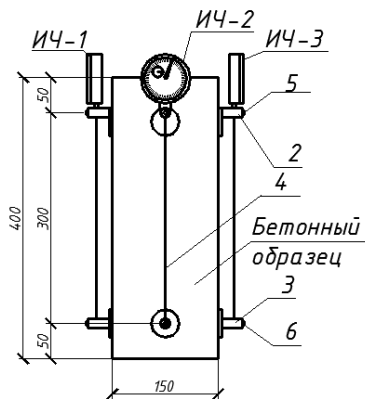


Рис. 4. Схема для измерения набухания керамзитобетонного образца, оснащенного индикаторами часового типа

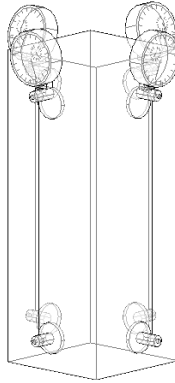


Рис. 5. Аксонометрическая схема керамзитобетонного образца размерами 150x150x400 мм, оснащенная индикаторами часового типа

В ходе обработки данных экспериментальных исследований для бетонов исследуемых классов будут определены следующие характеристики: кубиковая и призмечная прочностн, модули продольных и поперечных деформаций, модуль сдвига, объемные деформации, коэффициент Пуассона, пределы верхнего и нижнего микротрещинообразования.

Экспериментальные образцы должны находиться в естественных условиях (при $t=20\pm 2^\circ\text{C}$ и влажности 90–95 %). Снятие показаний будет проводиться ежедневно. Предлагаемая формула в [7] для измерения деформаций набухания (1):

$$\varepsilon_t = \frac{l_0 - l_t}{l_b}, \quad (1)$$

где ε_t – деформация набухания бетона в момент времени t ;

l_0 – начальное значение;

l_t – значение в момент времени t ;

l_b – длина шкалы.

В [2] предложили коэффициент набухания в качестве результата предельного изменения объемной деформации и изменения модуля упругости бетона следующим образом:

$$\alpha^{sh}(t) = \frac{E_{lc}(t_\infty)}{E_{lc}(t)} \cdot \varepsilon_\infty^{sh}, \quad (2)$$

где $E_{lc}(t)$ – модуль упругости в момент времени t ;

$\varepsilon_{\infty}^{sh}$ – предельная деформация, которая рассматривается как свободная эмпирическая постоянная [2].

Рассматривая дробное изменение модуля упругости в течение эквивалентного возраста 28 дней, коэффициент объемной деформации в формуле (3) можно изменить, чтобы точно получить возрастную зависимость твердения бетона следующим образом [5]:

$$\alpha^{sh}(t) = \frac{E_{lc}(28)}{E_{lc}(t_{eq})} \cdot \varepsilon_{\infty}^{sh} = \sqrt{\frac{4 + 0.85(t_{eq} - t_s)}{(t_{eq} - t_s)}} \cdot \varepsilon_{\infty}^{sh}. \quad (3)$$

Заключение. Явления набухания в легких бетонах, в частности в керамзитобетонах, являются мало исследованными. Многие экспериментальные работы различных авторов проводились на различных видах легкого заполнителя, а также в различных условиях. Это является перспективным направлением для проведения исследований в области набухания, которые требуют дальнейшего детального изучения. В случае армированного керамзитобетона, явления набухания позволили бы учесть дополнительные напряжения растяжения в арматуре.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахвердов И.Н. Механика деформирования и разрушения бетона в свете новых исследований по структурообразованию цементного камня / И.Н. Ахвердов // Доклады на 4 конференции по бетону и железобетону –Рига, 1966. – 51–56 с.
2. Bazant Z.P., Xi Y. Drying creep of concrete: constitutive model and new experiments separating its mechanisms, Mater. Struct. 27 (1), 1994. – pp. 3–14.
3. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – Госкомитет СССР по делам строительства. – М., 1981 – 20 с.
4. Рекомендации по подбору составов, изготовлению и применению модифицированных химическими и минеральными добавками конструктивно-теплоизоляционного и конструкционного керамзитобетон/ РУП «Институт БелНИИС» – Минск, 2013. – 38 с.

5. Seongcheol Ch. Internal relative humidity and drying shrinkage of hardening concrete containing lightweight and normal-weight coarse aggregates: A comparative experimental study and modeling, *Construction and Building materials* 148, 2017. – pp. 288–296.

6. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов / Симонов М.З. – М.: Стройиздат, 1973. – 58 с.

7. Wang X.F., Fang C., Kuang W.Q., Li D.W., Han N.X., Xing F. Experimental investigation on the compressive strength and shrinkage of concrete with pre-wetted lightweight aggregates, *Construction and Building materials* 155, 2017. – pp. 867–879.

УДК 624.012

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ

СЕМЕНЮК С. Д., СЕДЛЯР Т. Н.

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В 1988 году Бабиц Е. М. в своей книге «Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях» [1] в одной из глав приводит требования трех категорий, которые будут предъявляться легким бетонам в зависимости от условий работы и вида применяемой арматуры. Эти три категории имеют следующие характеристики:

1. Не допускается образование трещин при действии постоянных, длительных и кратковременных нагрузок, учитываемых с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f > 1$.

2. Допускается ограниченное по ширине непродолжительное раскрытие трещин под действием постоянных, длительных и кратковременных нагрузок при условии их последующего надежного закрытия под действием постоянных и длительных нагрузок (при $\gamma_f = 1$).

3. Допускается ограниченное по ширине непродолжительное и продолжительное раскрытие трещин. Однако, по современным