

для формулировки основных положений методики расчета морозостойких бетонов. А это немаловажно. Так, на сегодняшний день важнейшей задачей является обеспечение долговечности конструкций еще на стадии проектирования с учетом проектного срока службы конструкций. Развитие этого подхода позволит избежать не только преждевременного выхода конструкций из строя и лишних затрат на ремонт бетона, но и необоснованных запасов по эксплуатационным свойствам там, где это не нужно.

Известно, что для обеспечения морозостойкости бетона необходимо сформировать совершенно определенную структуру пористости, которая будет обладать незначительной склонностью к капиллярному подосу и будет иметь достаточно пространства для гашения гидростатического давления воды, отжимаемой при ее последовательном замерзании в направлении от крупных пор к мелким [1–3]. Решение этой задачи может быть реализовано при помощи воздухововлекающих добавок. Вовлеченный воздух находится в структуре в виде сферических пор определенного размера. Такие поры разбивают сеть капиллярных каналов и, тем самым, предотвращают заполнение пор водой за счет капиллярных сил.

#### **Заключение**

Метод обработки изображений является более эффективным методом оценки морозостойкости, однако он требует профессионального оборудования, что затрудняет его развитие. Такие методы, основанные на изучении структуры материала, могут сыграть значительную роль в разработке научно-обоснованного алгоритма проектирования морозостойкости бетонов. Этой задаче мы планируем посвятить наши дальнейшие исследования.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон: справочное пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди [и др.]; пер. с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
2. Леонович, С.Н. Прочность конструкционных бетонов при циклическом замораживании-оттаивании с позиций механики разрушения // Брест: Издат. БрГТУ, 2006. – 380 с.
3. Малышев А.В. Старостин Е.Г., Степанов А.В., Тимофеев А.Н. Фазовый состав воды в бетонах с противоморозными добавками // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы Международного симпозиума, Минск, 27–29 ноября 2009 г.: в 2 ч. – Минск, 2009. – Ч. 2. – С. 255–263.

УДК 624.012.3:62017

**Савощенко А.В.**

*Научный руководитель: доц. Бранцевич В.П.*

#### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ПОВТОРЯЮЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ НА ДЕФОРМАЦИИ И ШИРИНУ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ОБЫЧНЫХ И ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ**

**Введение.** Деформативность железобетонных конструкций при действии повторяющихся нагрузок является важнейшим показателем их эксплуатационной надежности. В связи с применением в сооружениях конструкций, испытывающих в процессе эксплуатации многократно повторяющиеся нагрузки различной частоты (мосты, подкрановые балки, элементы перекрытия промзданий и т.д.), возникает необходимость исследования влияния частоты приложения нагрузки к железобетонным элементам подвергающихся действию такого рода циклических нагружений.

Из обзора опубликованных сведений об особенностях деформирования бетонных призмных образцов и железобетонных элементов при многократно повторяющихся нагружениях, а также из результатов выполненных экспериментов, было выявлено, что развитие деформаций бетона, арматуры, трещин в балках при таких нагружениях зависит от уровня напряжений в бетоне, повторяющейся нагрузки и длительности ее действия, от усилия обжатия элементов напрягаемой арматурой и других факторов.

Отдельные данные, касающиеся деформаций бетона в призмах при повторяющихся нагружениях с различной частотой действия, позволяют считать, что наряду с указанными основными факторами частота приложения повторяющейся нагрузки, при прочих равных условиях эксперимента, также оказывает влияние на процесс деформирования бетона. Однако это влияние не учитывается при оценках поведения железобетонных элементов, подвергающихся действию повторяющегося нагружения.

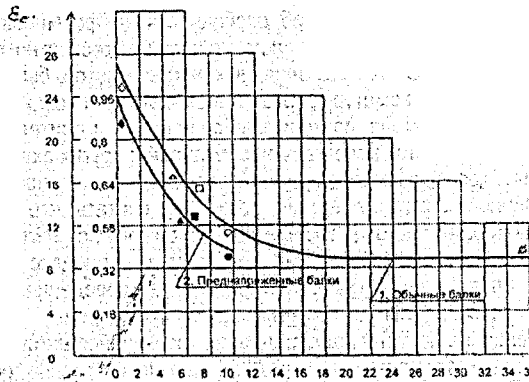
Чтобы выяснить влияние частоты приложения повторяющейся нагрузки на деформирование железобетонных элементов, выбирались данные из разных опубликованных исследований о развитии деформаций бетона, арматуры, прогибов и ширины раскрытия трещин в балочных железобетонных образцах, имевших примерно такие же характеристики, как были в проведенных экспериментах. Такие данные были заимствованы из работ Л.А. Богушевского, Л.И. Кавладзе, А.П. Казанкова, Камайтиса В.В. Левчича, С.С. Пиневица, Ю.В. Самбора [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Авторы исследований С.С. Пиневиц, Камайтис Л.А. Богушевский [1, 4, 6] проводили испытания предварительно напряженных балочных образцов.

По экспериментальным данным, приведенных в указанных работах, а также по результатам наших исследований были построены графические зависимости усредненно-го прироста деформаций бетона и арматуры опытных образцов от частоты приложения повторяющейся нагрузки. При этом значения деформаций были определены для одинакового срока испытаний образцов повторяющейся нагрузкой, соответствовавшего максимальному времени испытаний, проводившихся в этой работе. Графики изменения прироста неупругих деформаций бетона и арматуры в обычных и предварительно напряженных балках в зависимости от частоты многократно повторяющейся нагрузки представлены на рис. 1а, 1б.

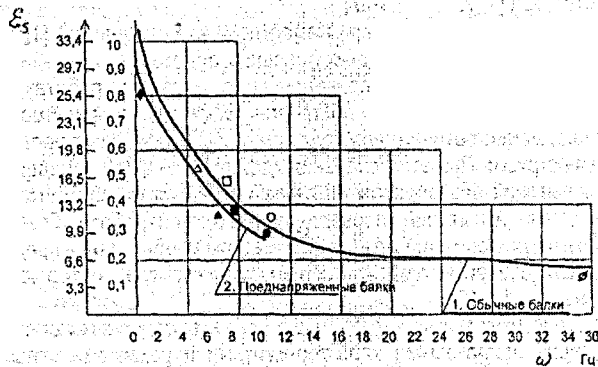
На указанных рисунках можно видеть, что в обычных балочных железобетонных элементах с примерно одинаковыми характеристиками и режимами испытаний средний прирост неупругих деформаций вполне отчетливо зависит от частоты повторяющейся нагрузки. При низкочастотных нагружениях 0,02Гц, как это было в описываемых исследованиях, накопление деформаций бетона в образцах было почти в два раза больше, чем при испытании балок с частотой повторения нагрузки 5–10Гц и почти в три раза больше, чем в балках, подвергавшихся вибрационному нагружению с частотой 30–36Гц. Еще в большей степени отличаются в зависимости от частоты действия нагрузки приросты деформаций в арматурных стержнях балок. Так, если приняты значения этих приростов в опытах за 100%, то при частотах 5–10Гц прирост деформации в арматуре составляет порядка 30–40%, а при частоте 30–36Гц – около 15–20%.

В предварительно напряженных балках, как видно из тех же рис. 1а, 1б, приросты деформаций бетона и арматуры по значению оказываются несколько меньше, чем в балках без предварительно напряженной арматуры. В бетоне и арматуре такое уменьшение было порядка 6–8%, а разница в приростах прогибов при изменении частот от 0,02Гц до 5–10Гц была порядка 20–25%. Для более высоких частот приложения нагрузки данных об изменении деформаций арматуры, бетона и прогибов в предварительно напряженных элементах найдено не было.



1 – обычные балки: ◊ - автор; ◻ - Левич В.В.; ◦ - Самбор Ю.В.; ◐ - Кавладзе Л.И.; ◄ - Казанков А.П.; 2 – преднапряженные балки: ◊ - автор; ◄ - Богушевский П.А.; ■ - Пиневиц С.С.; • - Камайтис З.А.

Рисунок 1а – Влияние частоты нагрузки на деформации бетона в балках



1 – обычные балки: ◊ - автор; ◻ - Левич В.В.; ◦ - Самбор Ю.В.; ◐ - Кавладзе Л.И.; ◄ - Казанков А.П.; 2 – преднапряженные балки: ◊ - автор; ◄ - Богушевский П.А.; ■ - Пиневиц С.С.; • - Камайтис З.А.

Рисунок 1б – Влияние частоты нагрузки на деформации арматуры в балках

Необходимо отметить и объяснить выявленные особенности в изменениях деформаций бетона и арматуры в балочных железобетонных образцах с изменением частоты действия многократно повторяющейся нагрузки.

1. Наибольший прирост неупругих деформаций в арматуре и в бетоне балок при малой частоте повторений нагрузки объясняется, очевидно тем, что в течение одного цикла нагружения и разгрузки при прочих равных условиях испытания образец более длительное время работает при повторяющейся нагрузке.

Вследствие этого успевают проявиться деформации ползучести в бетоне, и происходит ослабление связи арматуры с бетоном. При более высоких частотах изменения нагрузки развитие этих явлений замедляется, и тем более, чем больше частота нагружения.

2. Из сопоставления развития деформаций арматуры и бетона в образцах в зависимости от частоты нагружения можно видеть, что изменение прироста деформаций в арматуре предварительно напряженных балок существенно больше, чем в бетоне. Это можно объяснить видимо тем, что в арматуре обычных балок при низкочастотном нагружении происходило более заметное нарушение сцепления с бетоном, из-за чего прирост деформаций в таких балках был больше.

3. Особенно большие изменения имели место в развитии прогибов в обычных и предварительно напряженных балках. Полученные данные свидетельствуют о весьма положительном влиянии предварительного напряжения на деформирование балок при низких частотах приложения нагрузки.

Таким образом, рассмотрев влияние частоты временной нагрузки на развитие деформаций обычных и преднапряженных железобетонных элементов, можем в дальнейшем учесть влияние частоты приложения нагрузки на развитие деформаций при самом жестком режиме испытания.

При сопоставлении результатов описываемых опытов и исследований ряда авторов выявлено, что частота приложения повторяющейся нагрузки влияет не только на развитие деформаций бетона, но также и на ширину раскрытия трещин в бетоне изгибаемых элементов. Оказывается, что если значения ширины раскрытия трещин, измеренные в опытах различных авторов, расположить в зависимости от частоты действия испытательной нагрузки, то получается зависимость, подобная по форме зависимостям для деформаций бетона и арматуры.

Эта зависимость говорит, что с уменьшением частоты нагружения в балках происходит более интенсивное приращение ширины раскрытия трещин в бетоне, чем при нагружении с высокой частотой. Эта закономерность связана, как и в случае увеличения деформаций при уменьшении частоты, с более длительным действием максимальной нагрузки в течение цикла, нагружения и большим перепадом уровня прилагаемой нагрузки. Очевидно, при медленных попеременных нагружениях и разгрузках снижается в большей степени, чем при нагружениях с высокой частотой, сцепление арматуры с бетоном в трещине и в примыкающей области, и при этом интенсивнее выключается из работы растянутый бетон над трещиной, о чем свидетельствовало в опытах более интенсивное развитие трещин по высоте сечения (рис. 2а, 2б).

Отмеченная подобность графиков накопления деформаций бетона и арматуры, а также развития прогибов и прироста ширины раскрытия трещин в бетоне железобетонных балок в зависимости от частоты действия переменных нагрузок свидетельствует, что эти процессы взаимосвязаны.

Рассмотрев влияние частоты приложения повторной нагрузки на развитие деформаций в обычных и предварительно напряженных элементах и анализируя данные ряда авторов, исследовавших влияния повторяющихся нагружений на поведение железобетонных элементов, получили зависимости, учитывающие влияние частоты приложения нагрузки на развитие деформаций бетона сжатой зоны, растянутой арматуры и ширины раскрытия трещин.

Значение коэффициента  $K_{c\omega}$ , характеризующего изменение деформаций бетона, арматуры в зависимости от частоты переменной нагрузки для обычных железобетонных элементов, можно представить в следующем виде:

$$K_{c\omega} = A \cdot e^{B\omega} + c. \quad (1)$$

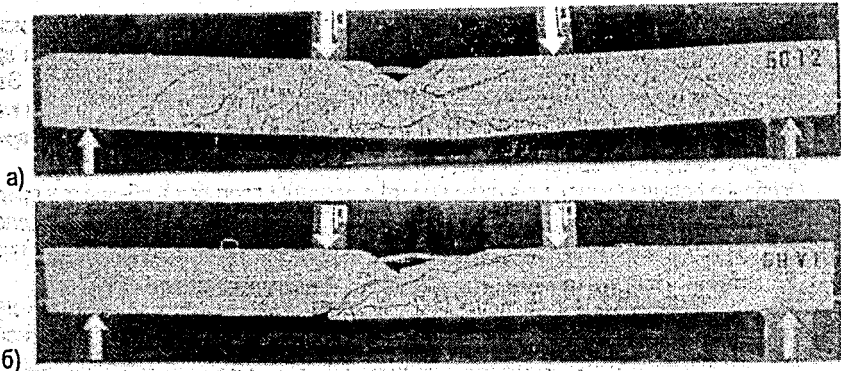


Рисунок 2 – а) характер образования и развития трещин при действии повторяющейся нагрузки в балке без преднапряжения; б) характер образования и развития трещин при действии повторяющейся нагрузки в балке с предварительным напряжением

В выражении (1) постоянные коэффициенты А, В, С были вычислены путем анализа экспериментальных данных. При этом выражение (1) применительно к определению деформаций бетона и арматуры приняло следующий вид:

$$K_{C_0} = 0,66e^{-0,18\omega} + 0,35, \quad (2)$$

$$K_{C_0} = 0,87e^{-0,18\omega} + 0,15. \quad (3)$$

Таким образом, полученные деформации бетона сжатой зоны и арматуры при действии повторяющейся нагрузки умножаются на значение коэффициентов  $\Psi_{C_0}$ ,  $\Psi_{S_0}$ , учитывающих влияние частоты:

$$\varepsilon_{C_0} = \varepsilon_{C_{rep}} \cdot K_{C_0}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_{S_0} = \varepsilon_{S_{rep}} \cdot K_{S_0}. \quad (5)$$

Выражение для определения коэффициента, учитывающего влияние частоты на ширину раскрытия трещин при повторяющейся нагрузке, имеет вид:

$$K_{w_0} = 0,6e^{-0,15\omega} + 0,3. \quad (6)$$

Ширина раскрытия трещин  $w_{rep,\omega}$  при действии повторяющейся нагрузки с учетом частоты ее приложения:

$$w_{rep,\omega} = K_{w_0} \cdot w_{rep}. \quad (7)$$

**Заключение.** Выполненный анализ экспериментальных исследований различных авторов и приведенные исследования автора позволяют заключить, что задача оценки влияния частоты приложения повторяющейся нагрузки требует более подробного изучения и разработки дальнейших методов расчета, наиболее полно учитывающих напряженно-деформируемое состояние железобетонных элементов при действии повторных нагрузок.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богушевский, Л.А. Исследование предварительно напряженных железобетонных балок при длительном воздействии постоянной и многократно повторяющейся нагрузок // Железобетонные конструкции. – Челябинск, 1971. – С. 66–71.
2. Кавладзе, Л.И. Исследование жесткости и деформативности железобетонных балок при длительном воздействии статических и динамических нагрузок. – М., 1983. – 20 с.

3. Казанков, А.П. О деформациях изгибаемых элементов при действии постоянных и многократно повторяющихся нагрузок // Строительные конструкции. – Минск, 1976. – С. 110–114.
4. Камайлис, З.А. Трещиностойкость предварительно напряженных изгибаемых железобетонных элементов при действии многократно повторяющихся нагрузок. – Каунас, 1965. – 21 с.
5. Левич, В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов при многократно повторяющихся нагрузках // Вопросы современного строительства. – Львов, 1973. – № 1. – С. 111–113.
6. Пиневиц, С.С. Исследование выносливости стабилизированных и отпущенных семи-проволочных канатов и работы армированных ими железобетонных преднапряженных изгибаемых элементов при многократно повторном нагружении. – Ростов-на-Дону, 1981. – 20 с.
7. Самбор, Ю.В. Особенности развития деформаций (прогибов) железобетонных балок при многократно повторяющихся нагрузках // Строительные конструкции. – Киев, 1971. – Вып. XV. – С. 122–133.

УДК 699.86

*Седляр Ю.А.*

*Научный руководитель: профессор, к.т.н. Черноиван В.Н.*

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ НЕОШТУКАТУРЕННЫХ СТЕН НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Введение.** Анализ сложившейся за последнее десятилетие структуры потребления топливно-энергетических ресурсов отраслями экономики Беларуси показывает, что наибольший рост, почти на 9% (до 34% общего их потребления народным хозяйством) имеет место в коммунально-бытовом секторе. Рост потребления топливно-энергетических ресурсов произошел за счет эксплуатируемых зданий, построенных в 70...80-х годах прошлого века. Согласно информации, предоставленной КУП «ЖРЭУ» г. Бреста, наибольший расход тепловой энергии на 1 м<sup>3</sup> помещения приходится на эксплуатируемые здания с кирпичными стенами с расшивкой швов. Основной объем таких зданий составляют общежития, жилые дома, здания школ и детских садов.

Как показала практика, через 5...8 лет эксплуатации зданий (в зависимости от того насколько суровы были зимы), прошедших тепловую реабилитацию, внутри жилых помещений на участках наружных кирпичных стен появляется грибковая плесень, что отнюдь не способствует качеству жилой среды [1]. На сегодня специалистами установлены основные причины, приводящих к снижению эффективности тепловой изоляции наружных стен эксплуатируемых зданий и сооружений – это: ошибки, допущенные при проектировании тепловой изоляции; нарушения технологии производства работ; изменения (как правило, ухудшение) теплотехнических характеристик плитных утеплителей в процессе их эксплуатации.

Учитывая, что основу проектирования тепловой изоляции наружных стен эксплуатируемых зданий и сооружений составляют теплотехнические расчеты, настоящие исследования посвящены реализации требования п. 7.1.6 ТКП 45-3.02-113-2009 [2], введенного с 01.01.2010 г. по определению (расчету) фактического сопротивления теплопередаче наружных кирпичных стен эксплуатируемых зданий и сооружений.