

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Л. С. ВЛАСОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ
КЕРАМЗИТОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ
ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ

В течении 1958—1961 гг. в Грузинском политехническом институте им. В. И. Ленина автором, под руководством проф. М. А. Якубовича, были проведены эксперименты по исследованию изменения во времени жесткости изгибаемых керамзитожелезобетонных балок длиной 220 см прямоугольного сечения размером 8×14 см. Испытанию длительной нагрузкой было подвергнуто 12 балок: 4 керамзитожелезобетонные на керамзитовом песке (серии К-1-С и К-2-С), 4 керамзитожелезобетонные на кварцевом песке (серии К-1-Р и К-2-Р) и, для сравнения, 4 балки из тяжелого железобетона (серии О-1-Б и О-2-Б). В каждую из указанных серий входило по две балки-близнеца. Балки из каждого вида бетона принимались с двумя процентами армирования $\mu = 1,04\%$ и $\mu = 2,46\%$ (на это указывает второй индекс в наименовании серий).

С целью выявления жесткости изгибаемых керамзитожелезобетонных элементов при наиболее неблагоприятных условиях их работы, армирование всех балок осуществлялось вязаными каркасами из круглой гладкой стали. Рабочая арматура балок с $\mu = 1,04\%$ — $2\varnothing 8$ мм ($\sigma_T = 2160$ кг/см²), балок с $\mu = 2,46\%$ — $3\varnothing 10$ мм ($\sigma_T = 3070$ кг/см²). Средняя треть каркаса выполнялась без хомутов.

Режим хранения балок до их загрузки — воздушно-сухой при относительной влажности воздуха 50—80%. Одновременно с изготовлением балок были изготовлены из тех же замесов бетона кубики, восьмерки и призмы. Методика проведения эксперимента преследовала цель выявить изменение во времени прогибов, а также деформаций сжатого бетона и растянутой арматуры.

Подготовленные к испытанию балки устанавливались на опоры (по схеме свободно лежащей балки) и ступенчато загружались двумя равными сосредоточенными грузами P , приложенными в третях пролета. Величина длительно действующей нагрузки составляла примерно 0,5 от разрушающей и равнялась 1000 кг для балок с $\mu = 2,46\%$ и 370 кг для балок с $\mu = 1,04\%$. При этих нагрузках во всех балках трещины уже имелись. Установка балок на опоры и загрузка их производилась в возрасте бетона 60—70 дней. К этому времени прочность на сжатие всех видов бетона составляла в среднем 200 кг/см², а на

растяжение — 14 кг/см^2 . Модули упругости при сжатии оказались равными: для керамзитобетона на керамзитовом песке $E=135000 \text{ кг/см}^2$, для керамзитобетона на кварцевом песке $E=160000 \text{ кг/см}^2$, для тяжелого бетона $E=220000 \text{ кг/см}^2$.

Измерение прогибов производилось переносными индикаторами часового типа (мессурами) с ценой деления $0,01 \text{ мм}$ в трех местах по длине элемента: над грузами f_{II} и f_{IV} и в середине пролета f_{III} . Кроме этого, такими же мессурами производилось измерение осадки опор f_I и f_V . Относительные деформации сжатого бетона и растянутой арматуры определялись постоянно закрепленными на балках мессурами с базой измерения 500 мм — компараторами. На каждую балку устанавливались 4 компаратора — 2 на сжатый бетон и 2 на растянутую арматуру.

Показания приборов снимались: во время приложения нагрузки, через 10 мин после приложения полной нагрузки, затем — в течение недели — ежедневно, а в дальнейшем еще реже. Одновременно велись наблюдения за появлением и раскрытием трещин. В дни взятия отсчетов по приборам производилось измерение температуры и относительной влажности воздуха в помещении, представляющем собой закрытый неотапливаемый зал. Ниже приводятся результаты по годичным наблюдениям.

Были определены мгновенные экспериментальные прогибы в середине пролета $f^{\text{эк}}$ (соответствующие замерам через 30 минут после приложения нагрузки), приращение прогибов при выдерживании балок под нагрузкой $\Delta f^{\text{эк}}$, полные прогибы $f_n^{\text{эк}} = f^{\text{эк}} + \Delta f^{\text{эк}}$ и коэффициенты возрастания прогибов $\beta = \frac{f_n^{\text{эк}}}{f^{\text{эк}}}$.

На рис. 1 приводятся экспериментальные кривые приращения во времени прогибов балок в середине пролета, а также кривые температуры и относительной влажности воздуха. Как видно из этого рисунка при высокой температуре и низкой относительной влажности воздуха нарастание прогибов происходит быстрее, чем при низкой температуре и высокой относительной влажности воздуха. Из этого же рисунка видно, что затухание прогибов в осенне-зимний период 1960—1961 гг. является кажущимся, поскольку с наступлением сухой и теплой погоды вновь обнаруживается тенденция к более интенсивному нарастанию прогибов.

В связи с годичным возрастом бетона усадочные деформации были малы и поэтому изменение интенсивности роста прогибов с изменением температурно-влажностных условий среды было обусловлено, в основном, ползучестью бетона.

Из рис. 1 видно, что кривые приращения прогибов всех испытанных балок спустя 50—70 дней располагаются в дальнейшем почти параллельно друг другу.

В табл. 1 приводятся данные по изменению прогибов в середине пролета опытных балок.

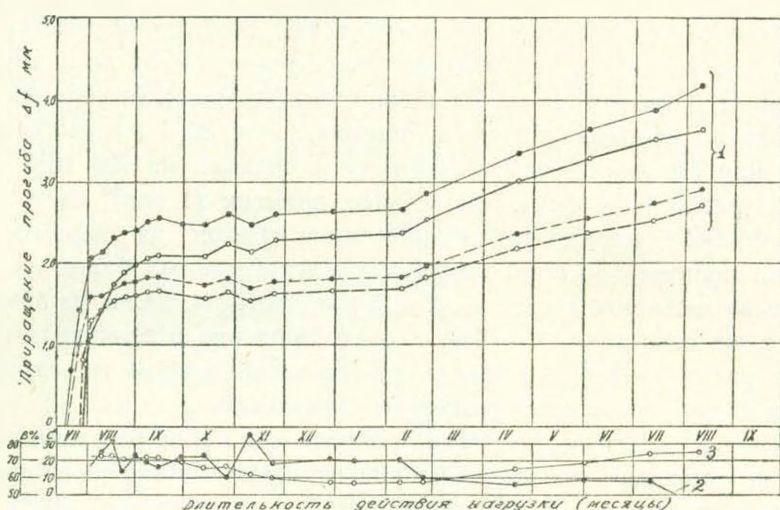


Рис. 1. Кривые приращения стрел прогибов балок в зависимости от температуры и влажности воздуха. 1—кривые приращения прогибов балок с $\mu = 2,46\%$ (верхние кривые) и с $\mu = 1,04\%$ (нижние кривые); 2—кривые относительной влажности воздуха; 3—кривые температуры воздуха.

Таблица 1

Номер балок	Процент армирования $\mu\%$	Мгновенный экспериментальный прогиб $f^{\text{эк}}$ мм	Мгновенный прогиб по СНиП (II—В.1-62) f мм	Приращение экспериментального прогиба от длительной нагрузки $\Delta f^{\text{эк}}$ мм	Полный экспериментальный прогиб $f_p^{\text{эк}} = f^{\text{эк}} + \Delta f^{\text{эк}}$	Коэффициент возрастания прогиба $\beta = \frac{f_p^{\text{эк}}}{f^{\text{эк}}}$
К-1-С	1,04	3,4	3,5	2,9	6,4	1,9
К-1-Р	1,04	3,2	3,2	2,7	5,9	1,8
О-1-Б	1,04	3,1	2,9	2,7	5,8	1,9
К-2-С	2,46	5,5	6,6	4,3	9,9	1,8
К-2-Р	2,46	5,4	6,1	3,8	9,2	1,7
О-2-Б	2,46	4,8	5,2	3,6	8,5	1,7

На основании приведенных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1. Величины мгновенных экспериментальных прогибов керамзитожелезобетонных балок как на керамзитовом, так и на кварцевом песках относительно хорошо согласуются с данными, вычисленными по СНиП II—В. 1—62.

2. Наибольший мгновенный прогиб наблюдается у керамзитожелезобетонных балок на керамзитовом песке при обоих, принятых в данной работе, процентах армирования. Превышение прогиба этих балок над прогибом керамзитожелезобетонных балок на кварцевом песке составляет в среднем 5%, а над прогибом балок из обычного тяжелого железобетона 10—15%.

3. Наибольшее приращение прогибов при длительном действии нагрузки имеет место для керамзитожелезобетонных балок на керамзитовом песке. Оно превышает приращение прогибов балок из керамзитожелезобетона на кварцевом песке и обычного тяжелого железобетона, у которых приращение прогибов примерно одинаково, на 10—16%.

4. За рассматриваемый промежуток времени (1 год), превышение полного прогиба керамзитожелезобетонных балок на керамзитовом песке над полным прогибом керамзитожелезобетонных балок на кварцевом песке составило в среднем 8%, а над прогибом балок из обычного тяжелого железобетона 10—16%, т. е. соотношения в величинах прогибов для рассматриваемых балок при кратковременном и длительном действии нагрузки остаются примерно одинаковыми.

5. Коэффициенты возрастания прогибов для балок из разных видов бетона, но имеющих одинаковый процент армирования, колеблются в незначительных пределах—от 1,80 до 1,90 для балок с $\mu = 1,04\%$ и от 1,70 до 1,80 для балок с $\mu = 2,46\%$.

6. Основной причиной роста прогибов при длительном действии нагрузки является ползучесть бетона, остальные факторы имеют второстепенное значение. Это видно из того, что изменение процента армирования почти в два с половиной раза приводит лишь к незначительному (6—8%) изменению коэффициента возрастания прогибов.

7. На интенсивность роста прогибов значительное влияние оказывает температурно-влажностный режим среды, в которой находятся элементы. Это в равной степени относится к элементам как из легкого, так и из тяжелого железобетона и было ранее отмечено в [1].

Учитывая выводы 3 и 6, можно заключить, что керамзитобетон на кварцевом песке обладает примерно такой же ползучестью, как и обычный бетон (в сопоставимых условиях), а ползучесть керамзитобетона на керамзитовом песке превышает ползучесть обычного тяжелого бетона примерно на 20%. О том, что керамзитобетон обладает обычной ползучестью, указывает и Ф. Леонгардт [2], используя данные американских опытов с напряженно армированными керамзитобетонными балками, пролетом 6 м. Объясняется это видимо тем, что прочность растворной части в керамзитобетоне гораздо выше, чем в обычном бетоне той же марки.

На рис 2. представлены кривые изменения во времени средних относительных деформаций растянутой арматуры — ϵ_{ac} , крайнего волокна сжатой зоны бетона ϵ_{bc} и отношения $\epsilon_{ac}/\epsilon_{bc}$ в испытанных балках. Из рисунка видно, что во всех балках при обоих процентах армирования деформации крайнего волокна сжатой зоны бетона, как и средние деформации растянутой арматуры, вообще говоря, возрастают. При этом скорость нарастания деформаций крайнего волокна сжатой зоны бетона намного превышает скорость нарастания деформаций растянутой арматуры, вследствие чего отношение $\epsilon_{ac}/\epsilon_{bc}$ во времени уменьшается. К возрасту загрузки 100—120 дней рост деформаций арматуры прак-

тически прекращается. Аналогичные явления находят отражение и в литературе [3, 4, 5].

Годичному изменению деформаций ϵ_{bc} в 1,9—2,35 раза соответствует изменение деформаций ϵ_{ac} в 1,1—1,4 раза. При этом в балках с меньшим процентом армирования наблюдается большее изменение как ϵ_{bc} так и ϵ_{ac} .

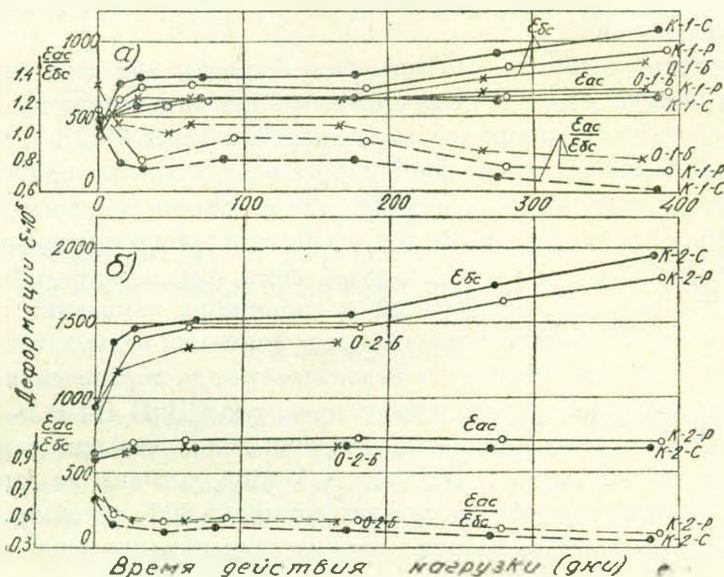


Рис. 2. Кривые изменения во времени средних относительных деформаций растянутой арматуры — ϵ_{ac} , крайнего волокна сжатой зоны бетона — ϵ_{bc} и отношения $\epsilon_{ac}/\epsilon_{bc}$ в балках: а) при $\mu = 1.04\%$; б) при $\mu = 2.46\%$.

Из всего сказанного выше в отношении изменения деформаций растянутой арматуры и сжатого бетона следует, что падение жесткости при длительном действии нагрузки происходит как за счет изменения упруго-пластических свойств бетона в сжатой зоне, когда увеличивается λ (коэффициент пластичности бетона при сжатии), так и за счет выключения бетона между трещинами из работы на растяжение, когда увеличивается ψ_a (коэффициент, учитывающий работу растянутого бетона на участках между трещинами). Следовательно, вывод сделанный Я. М. Немировским [3, 6] в отношении изменения под длительной нагрузкой жесткости изгибаемых элементов из тяжелого железобетона, справедлив и для изгибаемых элементов из керамзитожелезобетона.

За год нахождения балок под нагрузкой значения λ , практически, независимо от процента армирования, увеличились в 1,4—1,5 раза и составили $0.84 \div 0.86$ ($\nu = 1 - \lambda = 0.16 \div 0.14$) для балок с $\mu = 1.04\%$ и $0.78 - 0.75$ ($\nu = 0.22 \div 0.25$) для балок с $\mu = 2.46\%$. В отношении же ψ_a выявлено, что этот коэффициент находится в явной зависимости

от процента армирования. Для балок с $\mu = 1,04\%$ значения ϕ_a увеличились в среднем в 1,25 раза, тогда как для балок с $\mu = 2,46\%$ они увеличились лишь в 1,07 раза. Отсюда следует, что преобладающее значение в падении жесткости при длительном действии нагрузки принадлежит ползучести бетона сжатой зоны. Таким образом, в данном эксперименте выявлена полная идентичность в характерах изменения во времени деформаций ϵ_{ac} и ϵ_{bc} для изгибаемых элементов из керамзитового и тяжелого железобетонов.

Необходимо отметить, что значения кривизны для всех балок, вычисленные по прогибам и по деформациям в любой промежуток времени оказались весьма близкими (расхождение составляет 3—7%), что говорит о согласованной и достоверной работе измерительных приборов.

Выводы, сделанные выше в отношении жесткости по прогибам, остаются полностью справедливыми и в отношении жесткости рассматриваемых балок по деформациям растянутой арматуры и сжатого бетона.

Идентичность закономерностей в характерах изменения под действием длительной нагрузки прогибов и деформаций керамзитового и тяжелого железобетонов позволяет использовать для определения жесткости керамзитожелезобетона методику, принятую СНиП II—В.1—62.

Поскольку основной причиной падения жесткости при длительном действии нагрузки является ползучесть бетона, которая, за год нахождения балок под нагрузкой, достигает примерно 80% своей предельной величины, сопоставление величин полных экспериментальных прогибов $f_n^{эк}$ производилось с величинами $0,8 f_n$, где f_n — полный прогиб, вычисленный по СНиП при $\nu = 0,15$ (нормальный режим). Сопоставление приводится в табл. 2.

Таблица 2

Балки						
Прогибы	К-1-С	К-1-Р	О-1-Б	К-2-С	К-2-Р	О-2-Б
$f_n^{эк} \text{ мм}$	6,43	5,96	5,84	9,91	9,22	8,51
$0,8 f_n \text{ мм}$	5,97	5,42	4,64	12,8	11,9	9,20
$\frac{f_n^{эк}}{0,8 f_n}$	1,08	1,10	1,25	0,77	0,77	0,93

Как видно из приведенной таблицы, формула СНиП для расчета жесткости при длительном действии нагрузки дает вполне удовлетворительные результаты и может быть применима к изгибаемым элементам из керамзитожелезобетона как на керамзитовом, так и на кварцевом песках.

Наряду с этим необходимо подчеркнуть, что жесткость элементов с большим процентом армирования этой формулой несколько недооценивается, т. е. фактическая жесткость керамзитожелезобетонных элемен-

тов с $\mu = 2,46\%$ получается больше вычисленной. Это объясняется тем, что значения γ при одном и том же температурно-влажном режиме для балок с большим процентом армирования по нашим экспериментам получаются на 20—40% больше, чем для таких же балок с меньшим процентом армирования. Принятые в СНиП значения γ независимо от процента армирования очевидно требуют уточнения, что может быть осуществлено по мере накопления экспериментальных данных.

ГПН им. В. И. Ленина

Поступило 5. IX. 1962

Լ. Ս. ՎԱՍՈՎ

ԿԵՐԱՄԶԻՏԱՆԵԼԿԵԶՈԲԵՏՈՆԻ ՀԵՄԱՆՆԵՐԻ ԿՈՇՏՈՒԹՅԱՆ ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՐԿԱՐԱՏԵՎ ԲԵՌՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊԳՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում նկարագրվում է ուղղանկյուն կտրվածք ունեցող երկաթբետոնի հեծանների երկարատե բեռնվածության տակ կոշտության փոփոխության փորձարկման եղանակը և ստացված արդյունքները: Փորձարկման են ենթարկվել տարբեր տոկոսի ամրանալորմամբ ($\mu = 1,4$ և $\mu = 2,46$) կերամզիտի և կվարցի ավազով իրականացված կերամզիտաերկաթբետոնային հեծաններ, ինչպես և ծանր բետոնով հեծաններ: Որոշվել են ձկվածքի, սեղմված բետոնի և ձկված ամրանի ըստ ժամանակի տեղի ունեցած փոփոխությունները: Հեղինակը գալիս է այն եզրակացության, որ բեռնվածքի մոմենտային և երկարատե ազդեցության դեպքում փորձից ստացված ձկվածքի մեծությունները լավ համաձայնեցում են գտնում СНиП II-B-1-62 միջոցով հաշված մեծությունների հետ, ըստորում կերամզիտի ավազով պատրաստված կերամզիտաերկաթբետոնի հեծանների համար ձկվածքները ստացվել են ամենամեծը:

Նշվում է, որ ձկվածքների ըստ ժամանակի ունեցած աճի համար հիմնական գործոն է հանդիսանում բետոնի սողքը, իսկ մյուս գործոնները երկրորդական դեր են կատարում: Այսպես օրինակ՝ կտրվածքի ամրանալորման տոկոսի 2,5 անգամ ավելացումը բերում է ձկվածքի փոփոխմանը ընդամենը 6—8 % չափով: Նշված է ձկվածքի մեծության վրա ջերմա-խոնավային ռեժիմի զգալի ազդեցությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карцивадзе Г. Н., Квицаридзе О. И., Сагателова Е. С., Гвелесиани Л. О. Влияние температурно-влажностных условий на нарастание прогибов изгибаемых железобетонных элементов при длительном действии нагрузки, Журн. «Бетон и железобетон», № 1, 1960.
2. Леонгардт Ф. Напряженно-армированный железобетон, Госстройиздат, М., 1957.
3. Немировский Я. М. Жесткость железобетонных конструкций при длительном нагружении, Сб. «Теория расчета и конструирования железобетонных конструкций», Госстройиздат, М., 1958.

4. Лачинов Б. В. Расчет прогибов железобетонных элементов от длительных нагрузок. Журн. «Бетон и железобетон», № 8, 1960.
5. Фигаровский В. В. Увеличение прогибов железобетонных балок при длительном действии нагрузки. Журн. «Бетон и железобетон», № 11, 1962.
6. Немировский Я. М. Жесткость изгибаемых железобетонных элементов и раскрытие трещин в них. Сб. «Исследования обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций». Госстройиздат, М., 1949.