

17. Morgun L. V., K. I. Kostylenko, Visnap A. V., Chernousov, A. S. Effect of physical nature of reinforcing bars on bond strength with cellular concrete, Modern technics and technology: proceedings of the XIX International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. In 3 t. Volume 2, Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2013.– pp. 73-75.
18. Morgun L. V., A. V. Visnap the effectiveness of the application of fiberglass reinforcement in the fiber-foam concrete, Construction — forming environments: proceedings of the Seventeenth International interuniversity scientific - practical conference of students, postgraduates and young scientists. – M-vo education and science Ross. Federation, Moscow GOS. stroit. UN-T. Moscow: MGSU, 2014. – pp. 909-912.

**УДК 691.34**

*Газиев М.А., Мажиева А.Х., Мажиев К.Х.*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА С УЧЕТОМ КАРБОНИЗАЦИИ**

*Gaziev M.A., Mazhieva A.Kh, Mazhiev K.Kh.*

## **FINE-GRAINED CELLULAR CONCRETE CREEP ANALYSIS TECHNIQUE WITH CONSIDERATION FOR CARBONATION**

*Аннотация.* Приведена методика определения ползучести и деформации ползучести мелкозернистого ячеистого бетона с учетом карбонизации и требований обеспечения ремонтных свойств и сейсмостойкости. Предложен порядок определения ползучести мелкозернистого ячеистого бетона с учетом его карбонизации атмосферной углекислотой. Теоретически и экспериментально установлено, что предлагаемая методика позволяет получить воспроизводимые результаты и может быть рекомендована для определения ползучести мелкозернистых ячеистых бетонов, в том числе ремонтных, с учетом их карбонизации.

*Ключевые слова:* ячеистый бетон, ремонтный бетон, карбонизация, деформация, ползучесть, окись кальция.

*Abstract.* The article considers the creep and creep deformation analysis technique in fine-grained cellular concrete with consideration for carbonation and assurance requirements for the repairing properties and seismic stability. The procedure for determining the creep of fine-grained cellular concrete is proposed with account of its carbonation by atmospheric carbon dioxide. It has been found theoretically and experimentally that the proposed technique allows obtaining reproducible results and

*can be recommended for creep determination of fine-grained cellular concretes, including repairing ones, taking into account their carbonation.*

**Key words:** *cellular concrete, repairing concrete, carbonation, deformation, creep, calcium oxide.*

**Введение.** По мнению ученых и специалистов в области строительства ячеистый бетон, по совокупности технико-экономических показателей, является самым эффективным и перспективным конструкционным строительным материалом. Для того, чтобы разобраться в причинах такой популярности ячеистого бетона необходимо выяснить, благодаря каким технико-экономическим качествам и характеристикам он так выгодно отличается от других строительных материалов схожего функционального предназначения. Для начала определим, что из себя представляет ячеистый бетон.

Ячеистый бетон - это искусственно созданный строительный материал, характеризующийся высокой пористостью, который изготавливается из смеси вяжущих, в основном кремнесодержащего заполнителя и различных добавок, формирующих или усиливающих те или иные качественные характеристики [15].

В качестве вяжущих веществ используют следующие природные минералы - цемент, известь или гипс. В качестве заполнителя в основном используют мелкозернистый кварцевый песок, угольную золу и доменный шлак. Пористую структуру ячеистого бетона, обуславливающую его высокие теплоизоляционные качества, получают за счет добавления в приготавливаемую бетонную смесь алюминиевой стружки (пудры), превращающуюся на определенном этапе в тысячи маленьких пузырьков (пор) с содержанием водорода.

Мелкозернистые ячеистые бетоны - это затвердевшая смесь вяжущего и кремнеземистого компонента, в которой равномерно распределены поры в виде мелких и средних ячеек размером до 1-2 мм, образованных газо- и пенообразователями. Объем данных пор приближается к 80 % от всего объема бетона. Ячеистые бетоны относят к классу легких бетонов. Физическо-механические свойства легких бетонов определяются их пористостью. Увеличение пористости приводит к улучшению теплотехнических и акустических характеристик, но при этом возрастают гигроскопичность и водопоглощение. Данные обстоятельства приводят к снижению морозостойкости. В связи с этим нельзя применять ячеистые бетоны в увлажненной среде.

Прочность ячеистого бетона зависит от плотности: чем выше плотность, тем прочнее бетон. Мелкозернистые бетоны в отличие от бетонов на крупных заполнителях обладают более однородной структурой, повышенным содержанием цементного камня (с уменьшением расхода цемента прочность резко падает), большой пористостью, но относительно меньшей прочностью, высокой проницаемостью, а также более низкой морозостойкостью. Изготовление бетонной смеси для ячеистого бетона требует большего расхода воды.

Мелкозернистый ячеистый бетон используется по следующим направлениям:

1. В качестве теплоизоляционного материала (входит в состав различных многослойных конструкций и систем, выполняя в них роль теплоизоляционного слоя. Удельный вес (плотность) теплоизоляционного ячеистого бетона – 150–200 кг/м<sup>3</sup>);
2. В качестве конструкционного материала (выпускается в виде изделий для возведения несущих конструкций зданий и сооружений. Удельный вес конструкционного ячеистого бетона 900 – 1400 кг/м<sup>3</sup>).

Как мы видим, мелкозернистый ячеистый бетон имеет очень широкую область применения. Однако, наибольшим спросом пользуются изделия для возведения несущих стен, выпускаемые в виде штучных блоков. Именно, как материал для возведения стен, ячеистый бетон заслужил всеобщее признание. Связано это с тем, что ячеисто-бетонные блоки имеют ряд бесспорных преимуществ перед остальными стеновыми материалами, представленными на современном строительном рынке: отличные прочностные свойства; существенно короче сроки строительства с использованием блоков из мелкозернистого ячеистого бетона; легкий процесс монтажа; непревзойденная теплоизоляционная способность; отличные звукоизоляционные качества.

В связи с широким использованием этого материала в строительном производстве, важное значение приобретает определение его деформативных свойств, в том числе его ползучести.

Под ползучестью бетона понимают его способность деформироваться во времени при длительном действии постоянной нагрузки. Физическая природа ползучести еще недостаточно выяснена, но большинство исследователей считают, что пластические деформации ползучести обуславливаются пластическими свойствами цементного камня и изменением состояния основной составляющей бетона. Деформации ползучести наиболее заметно развиваются в первые сроки после приложения нагрузки и постепенно затухают, но они наблюдаются иногда у бетона в возрасте одного года и больше. Полная деформация ползучести может значительно превосходить деформации, получаемые бетоном в момент загрузки [3]. Традиционно ползучесть мелкозернистого ячеистого бетона определяется на предварительно карбонизированных образцах-призмах размерами 10x10x40 см, изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ [2] (ГОСТ 10180-78), а также с учетом требований обеспечения ремонтных свойств и сейсмостойкости (СНиП 2.03.01-84, 1985) [7].

**Методика испытаний.** Для определения ползучести мелкозернистого ячеистого бетона необходимо, прежде всего, выяснить какие факторы влияют на ползучесть бетона. Ползучесть бетона зависит от большого числа факторов, чем его усадка, причем большинство факторов действует на деформации ползучести подобно их влиянию на деформации усадки.

На ползучесть бетона влияют: расход и вид цемента; водоцементное отношение; вид и крупность заполнителя; степень уплотнения бетона; степень гидратации цемента к моменту приложения нагрузки; температура и влажность окружающей среды и самого бетона; размеры образца и относительные значения напряжений в бетоне. Ползучесть бетона резко возрастает при повышении

содержания цемента, увеличении водоцементного отношения, уменьшении крупности заполнителей и повышении их деформативности, например, при применении пористых заполнителей.

При определении ползучести мелкозернистого ячеистого бетона необходимо соблюдать требования ГОСТ 24544-81 - Методы определения деформаций усадки и ползучести [1]. Данный ГОСТ устанавливает способы испытаний образцов бетона для определения деформации усадки и деформации ползучести. Для определения усадки испытывается ненагруженный образец, а для изменения ползучести – нагруженный.

Образцы испытываются путем измерения их вдоль продольной оси. Стандарт предписывает испытания производить только на специально изготовленных образцах. Образцы, выпиленные или выбуренные из конструкций, к испытаниям не допускаются. В соответствии с требованиями ГОСТа определение деформаций ползучести должно проводиться на призматических образцах не гидроизолированных от влагообмена с окружающей средой. Размеры образцов для определения деформаций ползучести выбирают в зависимости от наибольшей крупности заполнителя в пробе бетонной смеси в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78. Образцы изготовляют отдельными сериями.

Каждая серия должна состоять из 9 образцов призм, из которых 3 образца предназначают для определения призмной прочности, 3 образца - для определения деформации усадки и 3 образца - для определения деформаций ползучести, а также 3 образцов-кубов с ребрами размерами, соответствующими размеру рабочего сечения призмы.

Образцы из ячеистого бетона, изготовленные в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78, перед испытанием на ползучесть должны быть погружены в воду и храниться в ней в течение 3 суток в горизонтальном положении (ГОСТ 24544-81, 1981). В нашем случае перед карбонизацией влажность бетона доводится до 15% путем высушивания образцов в герметичной камере над хлористым кальцием в присутствии извести [8, 10].

Образцы для более равномерного распределения влаги выдерживаются завернутыми в газонепроницаемую пленку в течение 2-3 суток [8, 10]. Затем торцы и две боковые поверхности образцов изолируются липкой пленкой с последующим нанесением расплавленного с канифолью парафина слоем толщиной 2-3 мм. Свободными оставляются поверхности, перпендикулярные направлению вспучивания газомассы [8, 10]. Образцы карбонизируются в герметичной камере при 10%-ной концентрации в ней углекислого газа. Количество газа, необходимое для создания заданной концентрации при первом наполнении камеры, подсчитывается по ее объему.

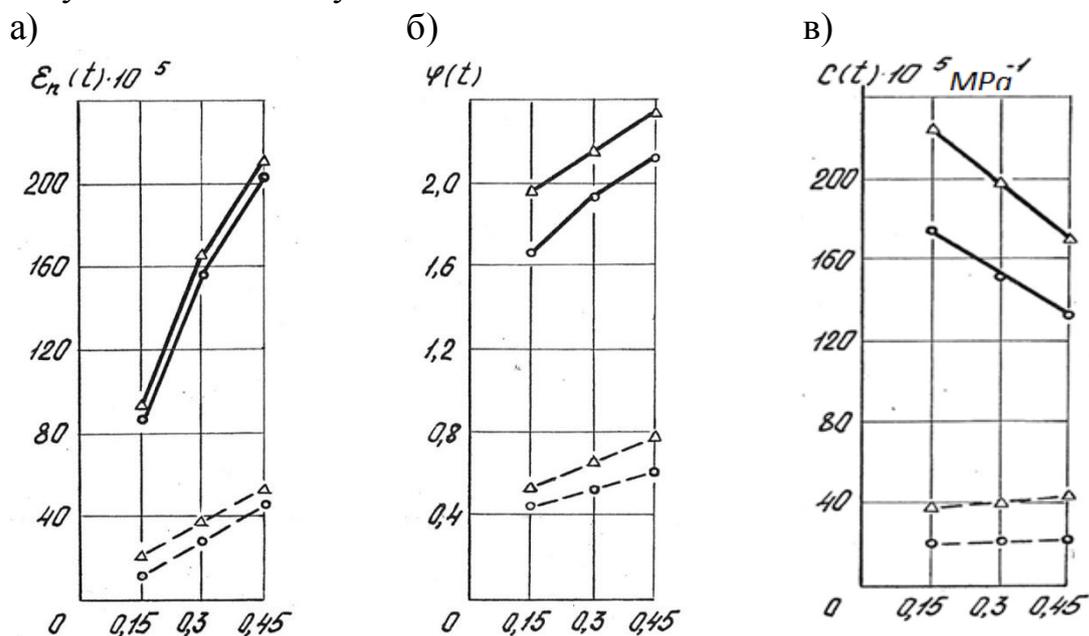
В последующем, концентрация газа в камере контролируется газоанализатором ВТИ-2 с точностью 0,01%. В камере находятся вентилятор для перемешивания газовой смеси и ванна с насыщенным раствором NaCl для обеспечения относительной влажности воздуха  $\phi = 75 \pm 3\%$  при  $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  (рис.1). Стабильность температурно-влажностного режима проверяется при помощи термографа и гигрографа. Испытуемые образцы выдерживаются в ка-





словливает повышение удельной несущей способности гелевидной части и включение в работу кристаллического сростка. Вследствие этого у карбонизированного ячеистого бетона с ростом нагрузки мера ползучести уменьшается.

Как видно из рис.3, ползучесть газобетона с учетом и без учета его карбонизации увеличивается с уменьшением плотности бетона.



Относительный уровень напряжений  $\sigma/R_b$

**Рисунок 3** - Относительные деформации ползучести (а), характеристика (б) и мера ползучести (в) ячеистого бетона с различной плотностью при длительности испытаний 360 суток

- — карбонизированный бетон;
- - - - - — некарбонизированный бетон;
- 1, 2, 3 — уровни напряжений 0,15; 0,3; 0,45 $R_b$  соответственно
- △ — газобетон плотностью 600 кг/м<sup>3</sup>;
- — газобетон плотностью 700 кг/м<sup>3</sup>

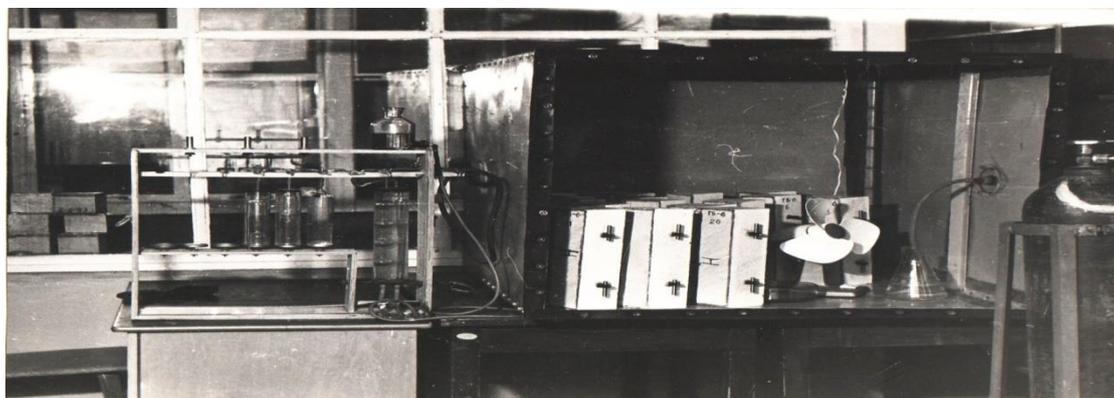
На протяжении опытов при уровне напряжений 0,3 от призмочной прочности относительные деформации ползучести, характеристика и мера ползучести некарбонизированного газобетона плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> превышают эти же значения бетона плотностью 700 кг/м<sup>3</sup> соответственно в 1,36; 1,12 и 1,44 раза.

Для карбонизированных бетонов эти величины равны соответственно 1,15; 1,06 и 1,22. Полученные результаты показывают, что процесс карбонизации снижает разницу в показателях ползучести исследуемых бетонов, которая была обусловлена их различной плотностью. Результаты экспериментальных данных исследований относительных деформаций ползучести мелкозернистых ячеистых бетонов с учетом их карбонизации и обычных мелкозернистых бетонов без учета их карбонизации [16], при уровне напряжения 0,3 призмочной прочности, проанализированы с применением методов математической статистики. Расчет выполнялся на ЭВМ с использованием специального программного продукта [18].

Согласно методическим рекомендациям НИИЖБ по исследованию усадки и ползучести бетона, достаточная надёжность эксперимента достигается в том случае, если показатель точности  $P$  не превышает 5% [19]. Значения показателя точности, полученные в наших опытах для относительных деформаций ползучести карбонизированного и некарбонизированного ячеистых бетонов, свидетельствуют о том, что результаты эксперимента являются надёжными. Так, значения показателя точности  $P$  для карбонизированных бетонов изменяются в пределах  $0,44 \div 1,97\%$ , а для некарбонизированных бетонов – в пределах  $0,93 \div 2,98\%$  [12].

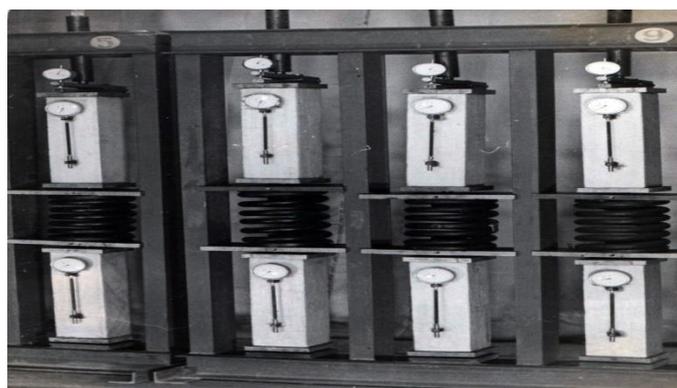
*Методика определения ползучести мелкозернистого ячеистого бетона с учетом карбонизации*

Исследование ползучести производится в кассетных пружинных установках, рассчитанных на 6 образцов-призм. Общий вид испытательной установки для исследования деформаций ползучести показан на рисунках 4 и 5.



**Рисунок 4** - Карбонизационная установка

Загрузка образцов осуществляется ступенями, равными  $1/4$  контролируемой нагрузки с 5 мин. выдержкой. Деформации, натекающие за время выдержки, относятся к деформациям ползучести. Величина нагрузки, передаваемой на образец, контролируется динамометром, устанавливаемым под каждый винтовой домкрат. Продольные деформации призм измеряются с двух противоположных сторон на базе 200 мм, стационарно установленными индикаторными приборами с ценой деления 0,001 мм. [5]. Ползучесть бетона определяется по результатам испытания шести образцов одной серии.



### Рисунок 5 - Общий вид пружинной установки во время длительных испытаний

Параллельно с нагруженными призмами ведутся наблюдения за тремя ненагруженными образцами-близнецами для исключения деформаций, вызванных колебанием температуры окружающей среды (рис.6).

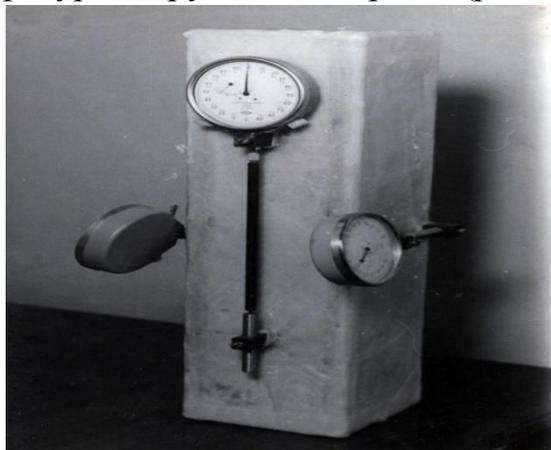


Рисунок 6 - Вид контрольного образца для учета температурных деформаций бетона

Температура и влажность в помещении замеряются аспирационным психрометром, а также термографами и гигрографами [5]. Замеры по индикаторным приборам при исследовании ползучести производятся через 0,5; 1; 3; 6 и 12 часов после передачи нагрузки, затем в течение 5-7 суток – ежедневно; в период от 7 до 14 суток – 2 раза в неделю и в последующем – через 10-15 суток [4, 20].

Относительные деформации ползучести определяются по формуле:

$$[\epsilon]_n(t) = [\epsilon]_д(t) - [\epsilon]_т(t), \quad (1)$$

где  $[\epsilon]_д(t)$  – длительные деформации (с учетом быстроснатекающих деформаций ползучести) отсчитываются от момента окончания загрузки образца;  $[\epsilon]_т(t)$  – температурные деформации ненагруженных изолированных призм-близнецов.

Показатели ползучести исследуемых бетонов определяются следующим образом:

мера ползучести

$$C(t) = \frac{[\epsilon]_n(t)}{[\sigma]}, \text{ МПа}^{-1} \quad (2)$$

где  $[\sigma]$  – величина напряжения в образце, МПа; характеристика ползучести

$$[\phi](t) = \frac{[\epsilon]_n(t)}{[\epsilon]_0}, \quad (3)$$

где  $[\epsilon]_0$  – мгновенная упругая деформация в момент нагружения образца.

Для оценки воспроизводимости результатов, полученных при использовании вышеизложенной методики, были испытаны три серии образцов-близнецов из газобетона на смешанном вяжущем плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> класса В 2,5. Каж-

дая серия состояла из 6 образцов, которые карбонизировались в разных камерах при одинаковой концентрации углекислого газа.

Достоверность разницы между средними арифметическими значениями деформаций ползучести разных серий образцов оценивали с помощью выражения [11]:

$$\frac{M_i - M_{i+1}}{\sqrt{m_i^2 + m_{i+1}^2}} \leq 3 + \frac{6}{n-4}, \quad (4)$$

где  $M_i$  и  $M_{i+1}$  – сравниваемые средние арифметические;

$m_i$  и  $m_{i+1}$  – их средние ошибки;

$n$  – число наблюдений;

$\frac{6}{n-4}$  – поправка на малое число наблюдений.

Анализ расхождения между средними значениями деформаций ползучести разных серий образцов-близнецов после выдерживания под нагрузкой в течение 360 суток приведен в таблице 1.

**Таблица 1** - Статистические данные деформации ползучести газобетона с учетом его карбонизации

Номер серий образцов	$M = \frac{\sum N}{n}$	$[\sigma] = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}$	$v = \pm \frac{100[\sigma]}{M} \%$	$m = \pm \frac{[\sigma]}{\sqrt{n}}$	$M_i - M_{i+1}$	$\frac{M_i - M_{i+1}}{\sqrt{m_i^2 + m_{i+1}^2}}$
1	165,34	1,44	0,90	0,59	3,29	3,91
2	168,63	1,46	0,87	0,60	1,89	1,16
3	170,52	3,72	2,18	1,52	5,18	3,18

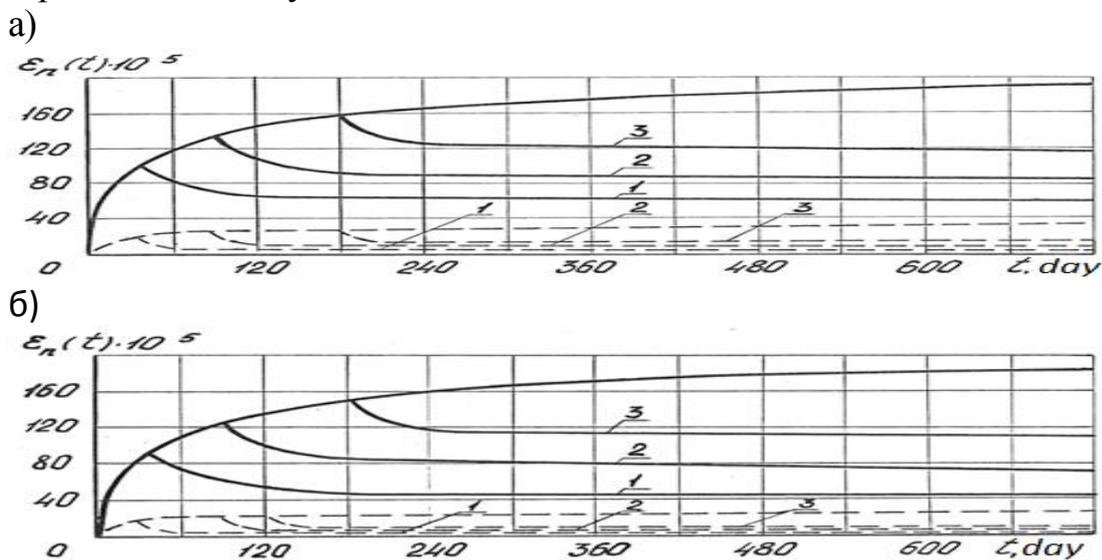
Как следует из таблицы 1, разница между средними арифметическими значениями ползучести сравниваемых серий образцов является недостоверной, так как левая часть неравенства (4) меньше ее правой части. Следовательно, предлагаемая методика позволяет получить воспроизводимые результаты и может быть рекомендована для определения ползучести ячеистых бетонов с учетом их карбонизации.

#### *Влияние карбонизации на обратимость деформаций ползучести мелкозернистого ячеистого бетона*

Достоверная оценка обратимости деформаций ползучести бетона имеет важное значение, так как это явление во многих случаях существенно влияет на изменение напряженного состояния конструкции во времени. Это связано с тем, что в значительном количестве реальных задач по разным причинам напряжения в бетоне во времени уменьшаются, т.е. имеют место условия, в которых проявляется свойство бетона восстанавливать свои первоначальные (до загрузки) размеры при частичном или полном разгрузении.

Исследования проводились на полностью карбонизированных и некарбонизированных образцах-призмах размерами 10x10x40см из газобетона плотностью 600 и 700 кг/м<sup>3</sup>. Для исключения погрешностей, связанных с неаддитивностью усадки и ползучести, образцы испытывали в изолированном виде при влажности бетона, равной 10%.

Напряжение загрузки в призмах составляло 0,3 от призмочной прочности некарбонизированного бетона. Всего было загружено 48 образцов-близнецов (по 24 шт. для бетона каждой плотности). После 30, 90 и 180 сут. воздействия нагрузки по шесть образцов разгружались для определения обратимости деформаций ползучести. При этом по шесть образцов оставляли под нагрузкой для определения ползучести.



**Рисунок 7** - Обратимость деформаций ползучести газобетона при различной длительности действия нагрузки

- а — газобетон плотностью 600кг/м<sup>3</sup>;
- б — газобетон плотностью 700кг/м<sup>3</sup>;
- — карбонизированный бетон;
- - - - - — некарбонизированный бетон.

Длительность действия нагрузки:  
1 – 300 сут., 2 – 90 сут., 3 – 180 сут.

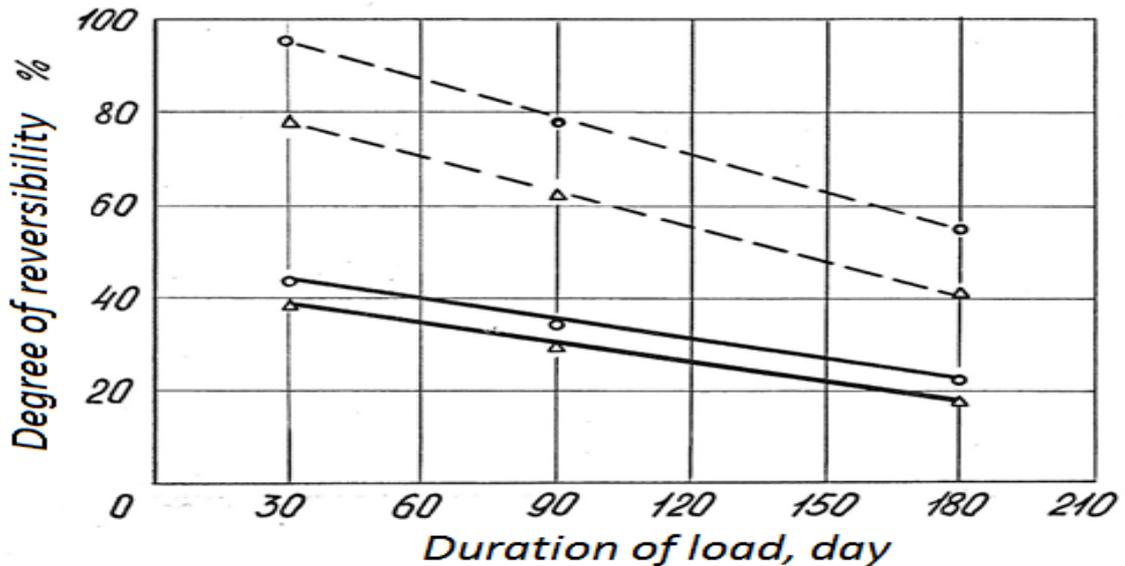
Как показывают опытные кривые (рис.7), для полностью карбонизированных бетонов характерна меньшая степень обратимости деформаций ползучести. Обратные деформации ползучести карбонизированных образцов из газобетона плотностью 700 кг/м<sup>3</sup>, разгруженных через 30, 90 и 180 суток, составили соответственно 43, 35 и 22% при длительности наблюдения, равной 540 суткам после разгрузки. Для этих же сроков степень обратимости деформаций ползучести серии образцов из некарбонизированного бетона составила 93, 78 и 56%.

Меньшая степень обратимости деформаций ползучести карбонизированного бетона по сравнению с некарбонизированным объясняется тем, что твердая фаза карбонизированного бетона состоит из геля кремнекислоты и кристаллической части, а твердая фаза некарбонизированного бетона является полностью кристаллической с той или иной степенью закристаллизованности.

С увеличением возраста разгрузки газобетонных образцов деформация упругого последействия и степень восстановления их первоначальных размеров как с учетом, так и без учета карбонизации имеют тенденцию уменьшаться (рис.8).

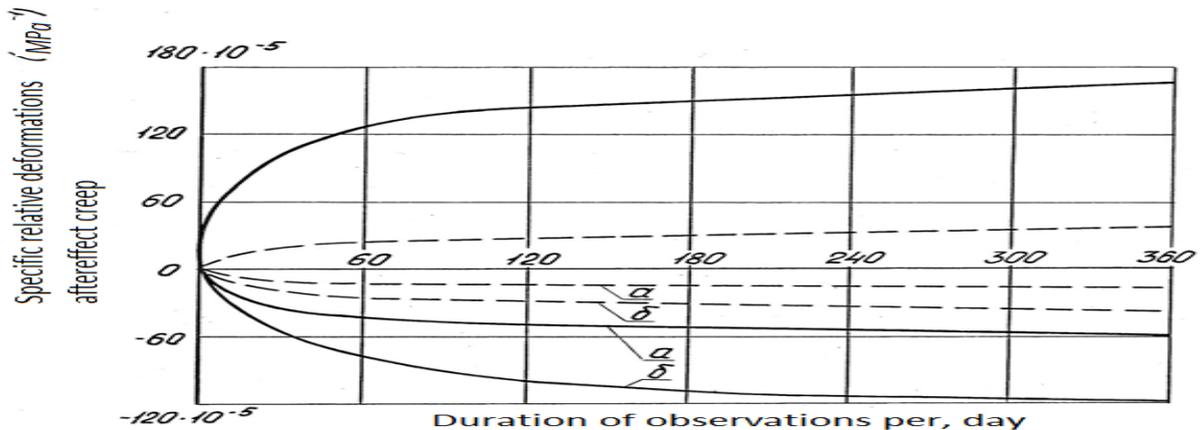
Аналогичные данные были получены в работах С.В. Александровского и В.И. Скатынского [16,18] при исследовании деформаций упругого последействия некарбонизированного цементно-зольного ячеистого бетона и газосиликата.

Уменьшение обратимости деформаций ползучести цементно-зольного ячеистого бетона при длительном выдерживании его под нагрузкой связывают с некоторым проявлением “старения” бетона, а также с возникновением необратимых деформаций ползучести, вызванных микронарушениями структуры бетона [13].



**Рисунок 8** - Влияние длительности действия нагрузки на обратимость деформаций ползучести ячеистого бетона с различной плотностью

- — — — — карбонизированный бетон;
- — — — — некарбонизированный бетон;
- △ — газобетон плотностью 600 кг/м<sup>3</sup>;
- — то же, плотностью 700 кг/м<sup>3</sup>.



**Рисунок 9** - Удельные деформации ползучести и упругого последействия

- — — — — карбонизированный бетон;
- — — — — некарбонизированный бетон;
- а — деформации последействия, отсчитанные от соответствующей

щей горизонтальной прямой;

б –тоже, по принципу наложения воздействий.

Как видно из рисунков 8 и 9, обратимость деформаций ползучести карбонизированного и некарбонизированного бетонов снижается с уменьшением их плотности. Так, степень обратимости ползучести карбонизированных газобетонных образцов плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$ , разгруженных через 30, 90 и 180 суток, оказалась на 6,5; 7,3 и 5,2% ниже, чем у образцов плотностью  $700 \text{ кг/м}^3$ . Для некарбонизированного бетона эта разница составила соответственно 15,0; 16,0 и 14,6%. Одновременно в момент разгрузки образцов из газобетона плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$ , которые находились под нагрузкой в течение 30 суток, для оценки применимости принципа наложения воздействий к описанию длительного деформирования ячеистого бетона с учетом и без учета его карбонизации, загружали той же нагрузкой по 6 образцов-близнецов из полностью карбонизированного и некарбонизированного бетонов.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Проведенные нами опыты по исследованию обратимости деформаций ползучести газозолобетона подтвердили сделанный ранее С.В. Александровским вывод о том, что применение принципа наложения воздействий для описания деформирования ячеистых бетонов при простейших ступенчатых режимах изменения напряжений дает вполне приемлемые результаты.

По данным НИИЖБ, применение стеновых панелей из ячеистого бетона плотностью  $700 \text{ кг/м}^3$  на 21,1% уменьшает приведенные затраты на устройство наружных стен жилых и общественных зданий по сравнению с панелями из керамзитобетона плотностью  $1100 \text{ кг/м}^3$ . Масса наружных стен из ячеистобетонных панелей и блоков меньше стен из легкобетонных панелей и глиняного кирпича в 1,7-4,8 раза, а энергоемкость – в два с лишним раза [17]. Увеличение объема производства изделий из ячеистых бетонов требует более глубокого и широкого изучения их свойств. Это позволит уточнить рациональные области использования эффективных ячеистобетонных конструкций, повысить их качество и долговечность.

Одним из неисследованных вопросов в строительной науке о ячеистобетонных конструкциях является деформативность конструкций из этих бетонов при длительном действии нагрузки и карбонизации.

В условиях эксплуатации ячеистобетонные ограждающие конструкции испытывают воздействие углекислоты воздуха, концентрация которой в обычной атмосфере составляет около 0,05%, а в воздухе промышленных районов и внутри жилых помещений может достигнуть 0,1%. В атмосфере сельскохозяйственных производственных зданий концентрация углекислого газа составляет 0,25-0,3%. Следствием воздействия углекислого газа является карбонизация автоклавного ячеистого бетона. При карбонизации в бетоне меняется содержание твердой фазы и кристаллической части твердой фазы, появляется значительный объем геля кремнекислоты, изменяется удельная поверхность цементирующего материала, развивается карбонизационная усадка, снижаются прочность и мо-

дуть упругости бетона [14]. Все это не может не отражаться на величине деформации ползучести бетона.

**Вывод.** Проектирование ячеистобетонных конструкций без учета ползучести бетона при карбонизации может привести к снижению надежности, в ряде случаев, к недостаточной долговечности конструкций. В связи с этим целью исследования явилось определение нормативности элементов конструкций из автоклавного ячеистого бетона при действии длительной нагрузки и карбонизации, разработка предложений по совершенствованию методов расчета ячеистобетонных конструкций, повышающих их долговечность.

Проведенные исследования позволяют предложить следующий порядок определения ползучести ячеистого бетона с учетом его карбонизации атмосферной углекислотой. Необходимо отметить, что вязкое течение геля кремнекислоты необратимо, в то время как деформации даже слабо закристаллизованного сростка имеют высокий уровень обратимости деформаций ползучести.

Мера ползучести ячеистого бетона с учетом его карбонизации при действии углекислого газа 10%-ной концентрации  $C(t)_{10}$  определяется по формуле (2). Величину меры ползучести ячеистого бетона при карбонизации атмосферным углекислым газом  $C(t)_a$  определяют по формуле:

$$C(t)_a = k_1 C(t)_{10}, \quad (5)$$

где  $k_1$  – переходный коэффициент от меры ползучести, полученный при испытаниях образцов размером 10x10x40 см, карбонизированных углекислотой концентрации 10%, к мере ползучести бетона, карбонизированного атмосферной углекислотой.

Влияние размера образца на значение переходного коэффициента  $k_1$  предлагается учесть следующим выражением:

$$k_1 = 0,617 - 0,034 r \text{ при } 2 \leq r \leq 10, \quad (6)$$

где,  $r = \frac{A}{0,5 \Pi}$  – отношение площади поперечного сечения образца к его полупериметру (приведенный радиус сечения).

Значение коэффициента  $k_1$ , определенное по формуле (6), равно 0,45.

#### **Библиографический список:**

1. ГОСТ 24544-81 - Методы определения деформаций усадки и ползучести. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 24 с.
2. ГОСТ 10180-78. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение. - М.: Изд-во стандартов, 1979. - 24 с.
3. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987.
4. Мелкозернистые бетоны из техногенного сырья для ремонта поврежденных зданий и сооружений / Баженов Ю.М., Батаев Д.К.-С., Муртазаев С.-А.Ю., Мажиев Х.Н., Грозный: 2011. 342 с.
5. Приборы и оборудование строительных лабораторий / Мажиев Х.Н., Батаев Д.К.-С., Соловьев Э.П., Тимошук В.Г., М.: Комтех-Принт, 2007. 375 с.
6. Леонтьев Л.Н. Техника статистических вычислений. М.: Лесная промышленность, 1966. 250 с.
7. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. - 79 с.

8. Jirásek, M. and P. Havlásek, 2014. Microprestress–solidification theory of concrete creep: Reformulation and improvement. *Cement and Concrete Research*, 60: pp.51-62.
9. Jiang, W., G. De Schutter and Y. Yuan, 2014. Degree of hydration based prediction of early age basic creep and creep recovery of blended concrete. *Cement and Concrete Composites*, 48: pp.83-90.
10. Jirásek, M. and P. Havlásek, 2014. Accurate approximations of concrete creep compliance functions based on continuous retardation spectra. *Computers & Structures*, 135: pp.155-168.
11. Rossi, P., J. Tailhan and F. Le Maou, 2013. Comparison of concrete creep in tension and in compression: Influence of concrete age at loading and drying conditions. *Cement and Concrete Research*, 51: pp.78-84.
12. Assmann, A. and H.W. Reinhardt, 2014. Tensile creep and shrinkage of SAP modified concrete. *Cement and Concrete Research*, 58: pp.179-185.
13. Bazant, Z.P. and M.H. Hubler, 2014. Theory of cyclic creep of concrete based on Paris law for fatigue growth of subcritical microcracks. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 63: pp.187-200.
14. Balevičius, R. and G. Marčiukaitis, 2013. Linear and Non-linear Creep models for a multi-layered concrete composite. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 13(4): pp.472-490.
15. Hamed, E. and M.A. Bradford, 2010. Creep in concrete beams strengthened with composite materials. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 29(6): pp.951-965.
16. Александровский С.В., Данилов Б.П., Багрий Э.Я. Исследование ползучести ячеистого бетона//Ползучесть и усадка бетона: тезисы докладов / НТО стройиндустрии УССР и НИИСК Госстроя СССР. - Киев.- 1969. - С.5-12.
17. Баженов Ю.М. Материалы и технологии для ремонтно-восстановительных работ в строительстве. - М.: КомТех, 2000. – 233 с.
18. Скатынский В.И., Крумелис Ю.В. К выбору теории ползучести для описания длительного деформирования ячеистых силикатных бетонов // Ползучесть и усадка бетона: Тезисы докладов, подготовленные Украинским республиканским правлением НТО стройиндустрии и НИИСК Госстроя СССР. - Киев. - 1969. - С.155-164.
19. Айзенберг Я.М., Батдалов М.М., Муртазаев С-А.Ю. Материалы и конструкции для повышения сейсмостойкости зданий и сооружений. -М: Комтех-Принт, 2009г. – 447 с.
20. Баженов Ю.М. Материалы и технологии для ремонта и восстановления зданий и сооружений. - М.: КомТех, 2011. – 233 с.

## **References:**

1. GOST 24544-81 - Methods for determination of shrinkage deformations and creep. -М.:publishing,house,ofstandards,1981.-24p.
2. GOST 10180-78. The concretes. Methods for determination of compressive strength and tensile strength. - М.: publishing house of standards, 1979. - 24 p.
3. Bazhenov, Y. M. Technology of concrete. М.: Higher school, 1987.

4. Fine concretes from man-made materials to repair damaged buildings and constructions , Yu. M. Bazhenov, Bataev, D. K-S., Murtazaev S-A. Yu, Maiev H. N., Grozny :2011-342p.
5. Devices and equipment for construction laboratories Maiev H. N., Batayev D. K-S., E. P. Soloviev, V. G., Tymoshuk, M.: Comtech-Print, 2007. 375 p.
6. Leont'ev L. N. Technique of statistical calculations. M.: Forest industry, 1966 - 250 p.
7. SNiP 2.03.01-84. Concrete and reinforced concrete structures. - M: TSITP of USSR Gosstroi, 1985. - 79 p.
8. Jirásek, M. and P. Havlásek, 2014. Microprestress–solidification theory of concrete creep: a Reformulation and improvement. *Cement and Concrete Research*, 60: pp. 51-62.
9. Jiang, W., G. De Schutter and Y. Yuan, 2014. Degree of hydration based prediction of early age basic creep and creep recovery of concrete blended. *Cement and Concrete Composites*, 48: pp.83-90.
10. Jirásek, M. and P. Havlásek, 2014. Accurate approximations of concrete creep compliance functions based on continuous retardation spectra. *Computers & Structures*, 135: pp.155-168.
11. Rossi, P., Tailhan J. and F. Le Maou, 2013. Comparison of concrete creep in tension and in compression: Influence of concrete age at loading and the drying conditions. *Cement and Concrete Research*, 51: pp.78-84.
12. Assmann, A. and H. W. Reinhardt, 2014. Tensile creep and shrinkage of SAP modified concrete. *Cement and Concrete Research*, 58: pp.179-185.
13. Bazant, Z. P. and M. H. Hubler, 2014. Theory of cyclic creep of concrete based on Paris law for fatigue growth of subcritical microcracks. *Journal of the Mechanics and, Physics of Solids*, 63: pp.187-200.
14. Balevičius, R. and G. Marčiukaitis, 2013. Linear and Non-linear Creep models for a multi-layered concrete composite. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 13 (4):pp.472-490.
15. Hamed, E. and M. A. Bradford, 2010. Creep in concrete beams strengthened with composite materials. *European Journal of Mechanics – A Solids*, 29(6):pp.951-965.
16. Aleksandrovsky S. V., Danilov B. P., bagrii, E. I. study of the cellular concrete creep, Creep and shrinkage of concrete: proceedings NTO the building industry of the USSR and the scientific-investigational center of Gosstroy of the USSR. - Kyiv.- 1969.-pp.5-12.
17. Bazhenov Yu. M. Materials and technologies for repair and rehabilitation works in construction. -M.:TheComtech,2000.–233p.
18. Katynski V. I., Brumelis Y. V. the choice of the creep theory for describing the long-lasting deformation of the cellular silicate concrete, Creep and shrinkage of concrete: Proceedings of the reports of the Ukrainian Republican rule NTO construction and scientific-investigational center of Gosstroy of the USSR. - Kiev. - 1969.-pp.155-164.

19. Eisenberg J. M., Batalov M. M., Murtazaev S-A. Y. Materials and construction for improving earthquake resistance of buildings and structures. -M: Comtech-Print, 2009–447p.
20. Bazhenov Yu. M. Materials and technologies for repair and reconstruction of buildings and structures. - M.: Komtekh, 2011. – 233 p.

УДК 621.861

*Кокоев М.Н., Федоров В.Т.*

## МОДУЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА ДЛЯ МОНТАЖА ТЯЖЕЛОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Kokoev M.N., Fedorov V.T.*

## MODULAR STAGE FOR HEAVY MACHINERY ASSEMBLING AT THE INDUSTRIAL PLANTS

*Аннотация.* В статье рассмотрена модульная площадка для перемещения грузовой платформы на воздушной подушке. С помощью модульной площадки и грузовых платформ можно перемещать тяжелое оборудование с открытой территории предприятия внутрь цехов и монтировать его на подготовленные фундаменты. Рассмотрены две конструкции автоматических клапанов, используемых в модульной площадке. Приводятся сведения об испытании прототипа модульной площадки.

**Ключевые слова:** модульная площадка, грузовая платформа на воздушной подушке, промышленное оборудование, монтаж.

**Abstract.** This article proposes a design of the modular stage for the air-cushion service platforms. With the help of the modular stage and service platforms it is possible to carry heavy machinery from the outdoor territory of the plant into the workshops and mount it on the prepared basement. Two possible designs of automatic valves are suggested. Results of some tests of the prototype of the modular stage are included.

**Key words:** modular stage, air-cushion service platform, industrial equipment, assembly.

**Введение.** В предстоящие годы в Российской Федерации необходимо будет реконструировать и модернизировать сотни промышленных предприятий. Это связано с тем, что за четверть века на бывших предприятиях оборудование давно морально, а во многих отраслях и физически, устарело, разукomплектовано и пришло в негодность. В то же время капитальные здания и сооружения промышленных предприятий, в которых материализован труд предшествую-