

УДК 620.17:691.32

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА

канд. техн. наук А.А. КОНДРАТЧИК
(Брестский государственный технический университет);
Т.В. РОМАНЬКОВА
(Гродненский государственный университет им. Я. Купалы)

Разработана экспериментальная установка для получения диаграммы деформирования бетона с ниспадающей ветвью. На основании проведенных исследований составлены рекомендации по выбору конструктивных параметров проектируемой установки для получения полной диаграммы деформирования бетона. Приведены методики получения полной диаграммы деформирования бетона на напрягающем цементе. Получены результаты экспериментальных исследований образцов из напрягающего бетона для получения полной диаграммы деформирования.

Испытания статическим нагружением проводились по двум методикам: с использованием гидравлического прессы ПСУ-250 и с использованием разрывной машины ИР 5145-500-10.

Анализ полученных диаграмм деформирования показал, что использование разрывной машины позволяет автоматизировать процесс получения диаграмм, но при этом опытные образцы требуют разработки новой опалубки, конструктивного решения и изготовления динамометрических кондукторов.

Введение. Деформационный метод расчета сечений, определенный в СНБ 5.03.01-02 как основной, базируется не только на знании уравнений равновесия моментов и продольных сил, законов распределения напряжений и деформаций по сечению, условий деформирования бетона и арматуры между трещинами, но и зависимости между напряжениями и деформациями бетона [1, 2].

Полная диаграмма деформирования как обобщенная характеристика механических свойств бетона, отражая связь между напряжениями и деформациями материала вплоть до разрушения, необходима при нелинейных расчетах конструкций. Диаграммы сжатия с нисходящими участками позволяют объяснить такие явления, как неоднородное напряженное состояние краевых зон бетона, перераспределение усилий и деформаций в стержневых статически неопределимых конструкциях при вычислении жесткостей нормальных сечений элементов, а также позволяют определить полноту эпюры напряжений [3].

В течение нескольких последних десятилетий значительное число исследователей пытается получить полную диаграмму деформирования бетона различными способами. Однако данная задача является достаточно сложной. Форма кривой, получаемой в опыте, подвержена сильному влиянию условий проведения эксперимента: размера и формы образцов, жесткости испытательной машины, скорости нагружения (деформирования) образца, типа и точности измерительных приборов, принятого способа измерения деформаций и т.д. [4].

Экспериментальные данные по определению полных диаграмм деформирования для напрягающего бетона в настоящее время представлены достаточно ограниченно. Вместе с тем в Проект Пособия по проектированию конструкций из напрягающего бетона внесены диаграммы деформирования напрягающего бетона, отличающиеся от аналогичных диаграмм для традиционных конструктивных бетонов условиями ограничения характеристик нисходящей ветви.

Основная часть. Для получения полной диаграммы деформирования бетона на напрягающем цементе проведен ряд исследований, основными задачами которых являлись:

- разработка экспериментальной установки для получения диаграммы с ниспадающей ветвью;
- разработка методики проведения эксперимента.

Исследование образцов-призм размерами 100 × 100 × 400 мм проводилось на стадии твердения для определения самонапряжения бетонных призм (рис. 1), твердеющих в связанных условиях – в кондукторах и в формах с тяжами [5].

Для изготовления образцов применялся напрягающий цемент НЦ-4, состав которого подобран в лабораторных условиях (табл. 1). В результате получен напрягающий бетон с величиной самонапряжения равной 2,8 МПа – для образцов с тяжами, 2,6 – для образцов, твердеющих в кондукторах.

Исследование физико-механических характеристик образцов проводилось с помощью гидравлического прессы ПСУ-250 по ГОСТ 8905-7. При проведении пробных испытаний для повышения жесткости установки и во избежание хрупкого разрушения образца в опытах использовались домкраты грузоподъемностью 100 т с диаметром поршня 151 мм, установленные на нижнюю плиту стандартного гид-

равлического пресса. Начальная жесткость бетонной призмы и домкратов определялась экспериментально при раздельном их нагружении. При подаче нагрузки на призму верхняя траверса пресса соприкасалась и с образцом и с домкратами, что привело к получению совместно загружаемой системы. В процессе испытания по индикаторам, установленным на призме по четырем граням, замерялись продольные и поперечные деформации до момента близкого к разрушению образца (рис. 2). В ходе проведения пробного эксперимента планировалось достичь постепенного разрушения образца за счет работы домкратов и потенциальной энергии, накопленной в прессе во время проведения эксперимента. Однако получить диаграмму с нисходящей ветвью не удалось вследствие высокой скорости нагружения образца и недостаточной жесткости испытательной системы.

Таблица 1

Процентное соотношение компонентов для изготовления напрягающих цементов

Обозначение напрягающего цемента	Исходные компоненты, соотношение в % по массе		
	Портландцемент П500 ДО ОАО «Красносельскстройматериалы»	Глиноземистый цемент Пашийского цементного завода	Гипс литовского происхождения
НЦ-4	74	14	12

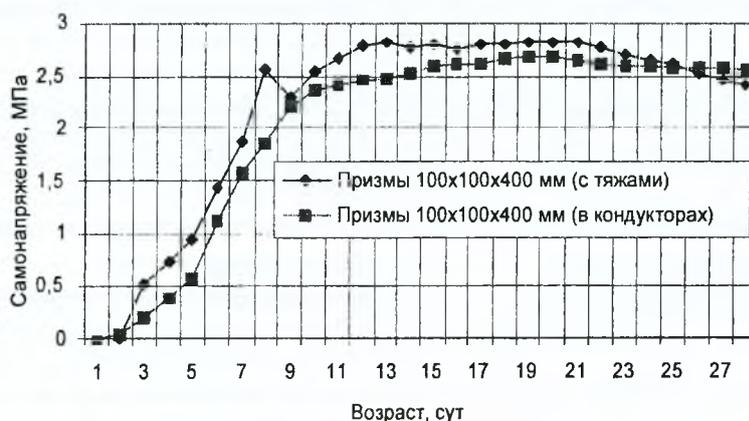


Рис. 1. Изменение самонапряжения напрягающего бетона на НЦ-4 для призм размерами 100 × 100 × 400 мм в зависимости от времени

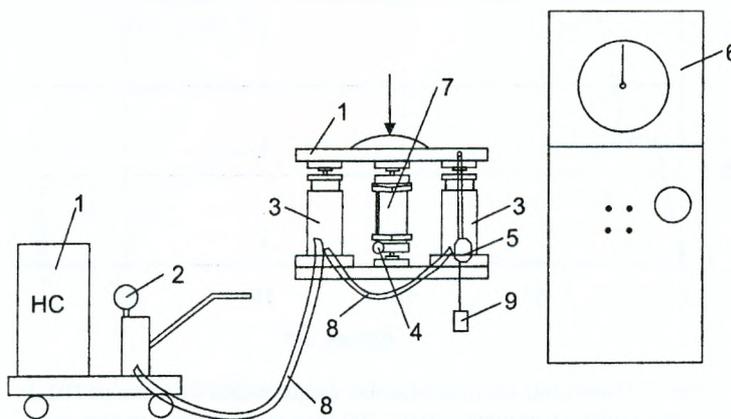


Рис. 2. Схема изображения испытательного оборудования:
1 – насосная станция; 2 – манометр; 3 – домкрат 100 т; 4 – индикатор часового типа;
5 – прогибомер Аистова ПАО-6; 6 – пресс ПСУ-250; 7 – опьтный образец; 8 – соединительные шланги; 9 – груз

Установки для получения полновесных диаграмм деформирования бетона могут создаваться на базе существующего оборудования, не обладающего достаточной жесткостью, путем применения упругих элементов регулируемой высоты, деформируемых вместе с образцом. При этом жесткость упругих элементов выбирается по модулю близкой к жесткости образца на ниспадающей ветви диаграммы, а начальная высота меньше начальной высоты образца на величину деформации, соответствующей пику нагрузки.

Для проведения дальнейших исследований сконструирована испытательная установка и разработана методика получения полной диаграммы деформирования бетона на напрягающем цементе.

Так как напрягающий бетон в конструкциях практически не применяется без внешнего ограничения (армирование и т.д.) в расчетах принято пользоваться значениями несвободных (связанных) деформаций расширения и соответствующих им значениями самонапряжений, установленных по величине реакции, возникающей во внешнем ограничении при расширении.

Величина самонапряжения образца определяется по формуле:

$$\sigma_{CE} = \frac{\Delta}{l_{обр}} \rho_l E_s,$$

где Δ – полное приращение длины образца-призмы, мм; $l_{обр}$ – начальная длина образца, мм; ρ_l – приведенный коэффициент продольного армирования сечения контрольного образца, принимаемый равным 0,01; E_s – модуль упругости стали, принимаемый равным $20 \cdot 10^4$ МПа.

Поэтому для определения самонапряжения образцов-цилиндров 100×200 мм исследование проведено на стадии твердения и расширения напрягающего бетона.

При изготовлении опытных образцов на напрягающем цементе НЦ-2 (табл. 2) в лабораторных условиях получен напрягающий бетон с величиной самонапряжения равной 1,7 МПа (рис. 3) [5, 6].

Таблица 2

Процентное соотношение компонентов для изготовления напрягающих цементов

Обозначение напрягающего цемента	Исходные компоненты, соотношение в % по массе		
	Портландцемент П500 ДО ОАО «Красносельскстройматериалы»	Глиноземистый цемент Пашийского цементного завода	Гипс литовского происхождения
НЦ-2	84	9	7

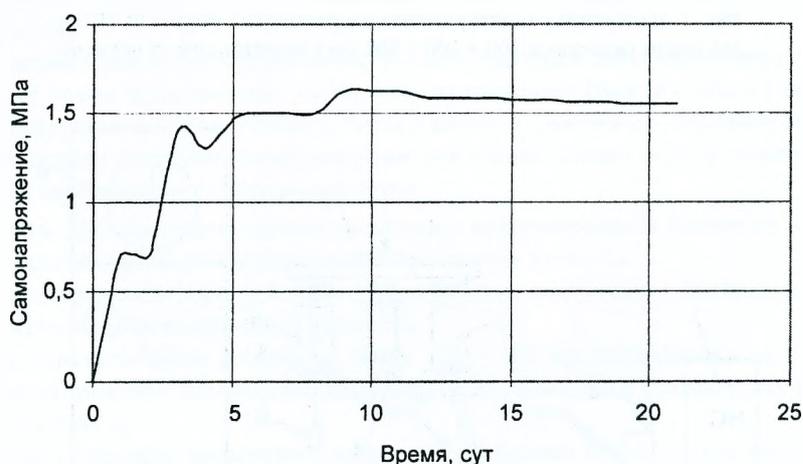


Рис. 3. Изменение самонапряжения напрягающего бетона на НЦ-2 для цилиндров размером 100×200 мм в зависимости от времени

Испытания статическим нагружением проводились по двум методикам:

- 1) с использованием гидравлического прессы ПСУ-250;
- 2) с использованием разрывной машины ИР 5145-500-10.

При использовании гидравлического прессы на нижнюю плиту на одинаковое расстояние от образца были установлены гидродомкраты грузоподъемностью 100 т, которые параллельно подключались к 5-тонному домкрату, регулятору давления и далее к насосной станции (рис. 4).

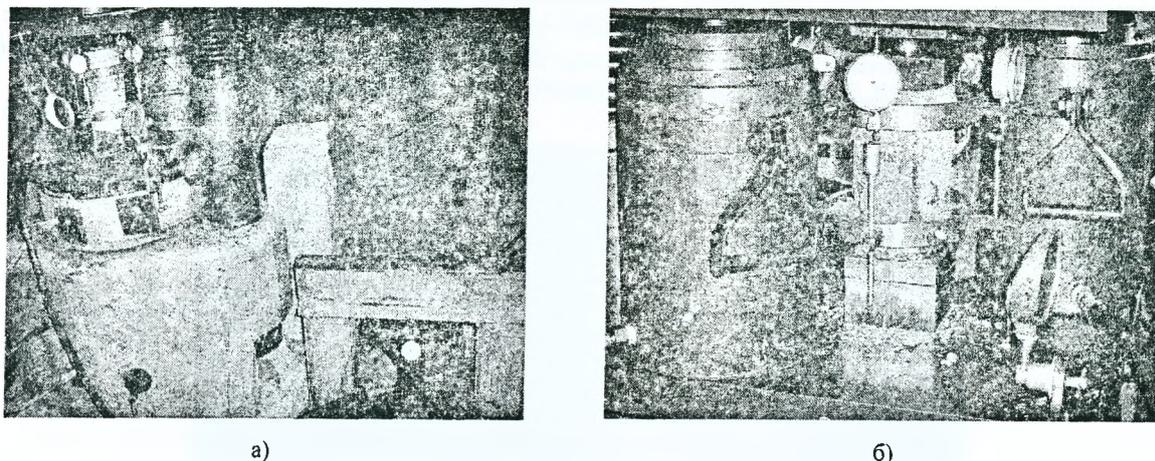


Рис. 4. Испытания образцов-цилиндров 100 × 200 мм на прессы гидравлическом ПСУ-250:
а – общий вид испытательной установки; б – разрушение образца

Измерение и регулировка давления в гидродомкратах происходило за счет показаний динамометра, установленного на 5-тонный домкрат. Измерение продольных и поперечных деформаций осуществлялось с помощью индикаторов часового типа, прикрепленных к образцу.

Для совместной работы системы «испытательная машина – образец» до нагружения образца в домкратах создавалось первоначальное давление ~ 5...8 атм.

После установления в домкратах постоянного давления кран на регуляторе давления закрывался во избежание утечки масла и получения замкнутой системы с постоянным давлением. Вместе с тем в насосной станции на обратной магистрали открывался кран для быстрой утечки масла в необходимый момент его спуска. Нагружение образца с помощью прессы начиналось с минимальной скоростью. При этом верхняя траверса при нагружении соприкасалась и с образцом, и с домкратами, что приводило к совместному нагружению системы. Нагрузка на образец продолжала расти до тех пор, пока не происходило частичное разрушение образца. При достижении бетоном данного состояния на регуляторе давления был открыт вентиль, который сдерживал резкую утечку масла из системы. Причем к моменту открытия вентиля на регуляторе давления на обратной магистрали насосной станции открыт кран для беспрепятственного слива масла. Давление вследствие утечки масла из системы медленно падало, нагрузка на образец постепенно уменьшалась, а деформации в бетоне продолжали расти. В итоге образец постепенно разрушался за счет работы домкратов и потенциальной энергии, накопленной в прессы во время проведения испытаний.

В результате проведенных испытаний получена диаграмма деформирования напрягающего бетона с неполной ниспадающей ветвью (рис. 5).



Рис. 5. Диаграмма деформирования образцов цилиндрической формы размером 100 × 200 мм, полученная на гидравлическом прессы ПСУ-250

При использовании прессы определенную сложность составили ручное регулирование подачи масла в гидросистему при работе элемента на участке ниспадающей ветви диаграммы деформирования и необходимость одновременного снятия отсчетов по приборам в строго фиксированные моменты развития деформаций. Получение полной диаграммы деформирования на разрывной машине ИР 5145-500-10 основано на принудительном деформировании образца при одновременном измерении нагрузки, прикладываемой к образцу, и соответствующей ей величины его деформации (рис. 6). В результате испытаний построены диаграммы деформирования близнецов-призм $50 \times 50 \times 200$ мм (рис. 7).

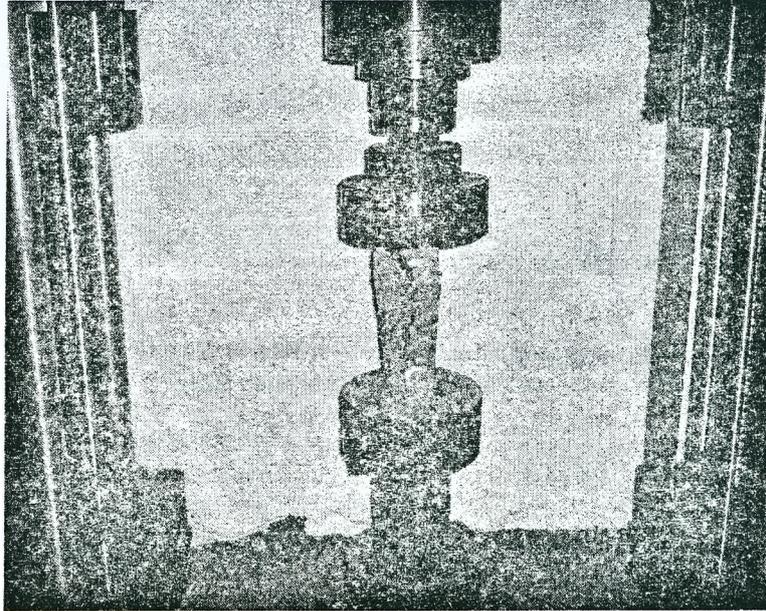


Рис. 6. Испытания образцов-призм $50 \times 50 \times 200$ мм на разрывной машине ИР 5145-500-10

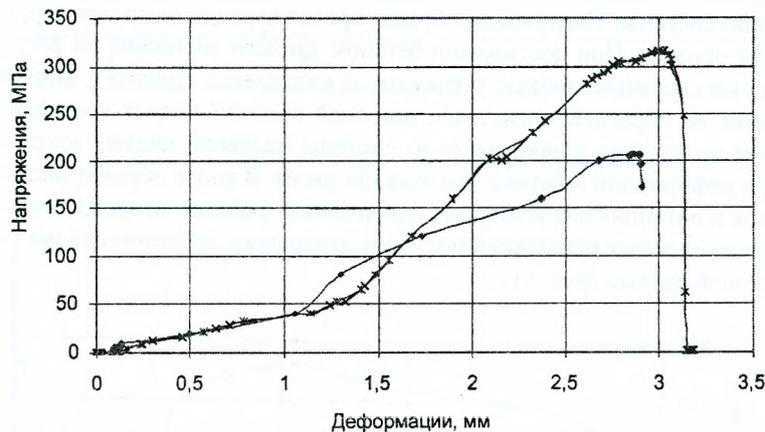


Рис. 7. Диаграммы деформирования образцов-призм $50 \times 50 \times 200$ мм из напрягающего бетона на разрывной машине ИР 5145-500-10

Из графиков видно, что с увеличением нагрузки рост деформаций до пиковой точки диаграммы плавно увеличивался, а после пиковой точки наблюдалось резкое снижение деформаций и, как следствие, крутая ниспадающая ветвь.

При анализе полученных диаграмм деформирования можно сделать вывод о том, что использование разрывной машины позволяет автоматизировать процесс получения диаграмм, но при этом опытные образцы требуют разработки новой опалубки, конструктивного решения и изготовления динамометрических кондукторов.

Заключение

На основании проведенных исследований составлены следующие рекомендации по выбору конструктивных параметров проектируемой установки для получения полной диаграммы деформирования бетона:

- 1) габариты испытательного пресса и ход исполнительного гидроцилиндра должны быть минимально возможными (для увеличения жесткости);
- 2) гидроцилиндр должен иметь по возможности больший диаметр и использоваться только для деформирования образца;
- 3) силовые элементы пресса, воспринимающие нагрузку, должны иметь по возможности меньшую длину и большее поперечное сечение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расторгуев, Б.С. Оценка надежности нормальных сечений железобетонных элементов с использованием стохастических диаграмм деформирования бетона и стали / Б.С. Расторгуев, В.В. Павликов // Бетон и железобетон. – 2000. – № 2.
2. Карпенко, Н.И. Расчет железобетонных конструкций с учетом деформаций сдвига / Н.И. Карпенко // Бетон и железобетон. – 1987. – № 3.
3. Тур, В.В. Прочность и деформации бетона в расчетах конструкций / В.В. Тур, Н.А. Рак. – Брест: БГТУ, 2003. – 252 с.
4. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при использовании напрягающего бетона / В.В. Тур. – Брест, 1998. – 270 с.
5. Цемент напрягающий: ТУ 21-26-13-90. – Взамен ТУ 21-26-13-80; Введ. 01.01.91. – М.: Минстройматериалов СССР, 1990. – 15 с.
6. Новикова, С.Д. Исследование прочности центрально-сжатых элементов из напрягающего бетона с косвенным армированием. Пояснительная записка / С.Д. Новикова. – Брест, 2002. – 58 с.

Поступила 12.05.2008