

УДК 624.012.4.001

О ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СВЯЗЕЙ СЦЕПЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СОВМЕСТНУЮ РАБОТУ АРМАТУРЫ И БЕТОНА

Неутов С. Ф. (Одесса)

Изучены физико – механические характеристики связей сцепления. Методика проведения таких исследований увязана с методикой определения времени формирования системы “бетон - арматура”. Деформативные характеристики контактного слоя характеризуются модулями условного полного сдвига. Характер его изменения соответствует характеру изменения модуля упругости бетона.

Исследования последних лет по изучению напряженно-деформированного состояния преднапряженных железобетонных изделий показали, что напряженное состояние таких изделий существенно зависит от времени начала совместной работы арматуры и бетона. Однако для достоверного расчета напряженного состояния и определения потерь преднапряжения от температурного перепада необходимо знать не только время начала совместной работы арматуры и бетона, но и учитывать изменение во времени длин тех участков изделия, на которых эта работа обеспечена. [1]

Вместе с тем полное представление о процессе и скорости формирования сцепления не может быть получено из-за отсутствия необходимых экспериментальных данных о прочностных и деформативных характеристиках связей, формирующихся между арматурой и бетоном в процессе термовлажностной обработки изделий.

Рассмотрим часть изделия, относящуюся к так называемому активному участку сцепления [2], на котором происходит смещение арматуры относительно бетона и искривление поперечных сечений (рис. 1) Такое смещение зависит от ряда факторов и в первую очередь от положения сечения по длине изделия X , возраста бетона τ и усилия $S(x, \tau)$, т. е.

$$U_a = U_a(\tau, \phi, S). \quad (1)$$

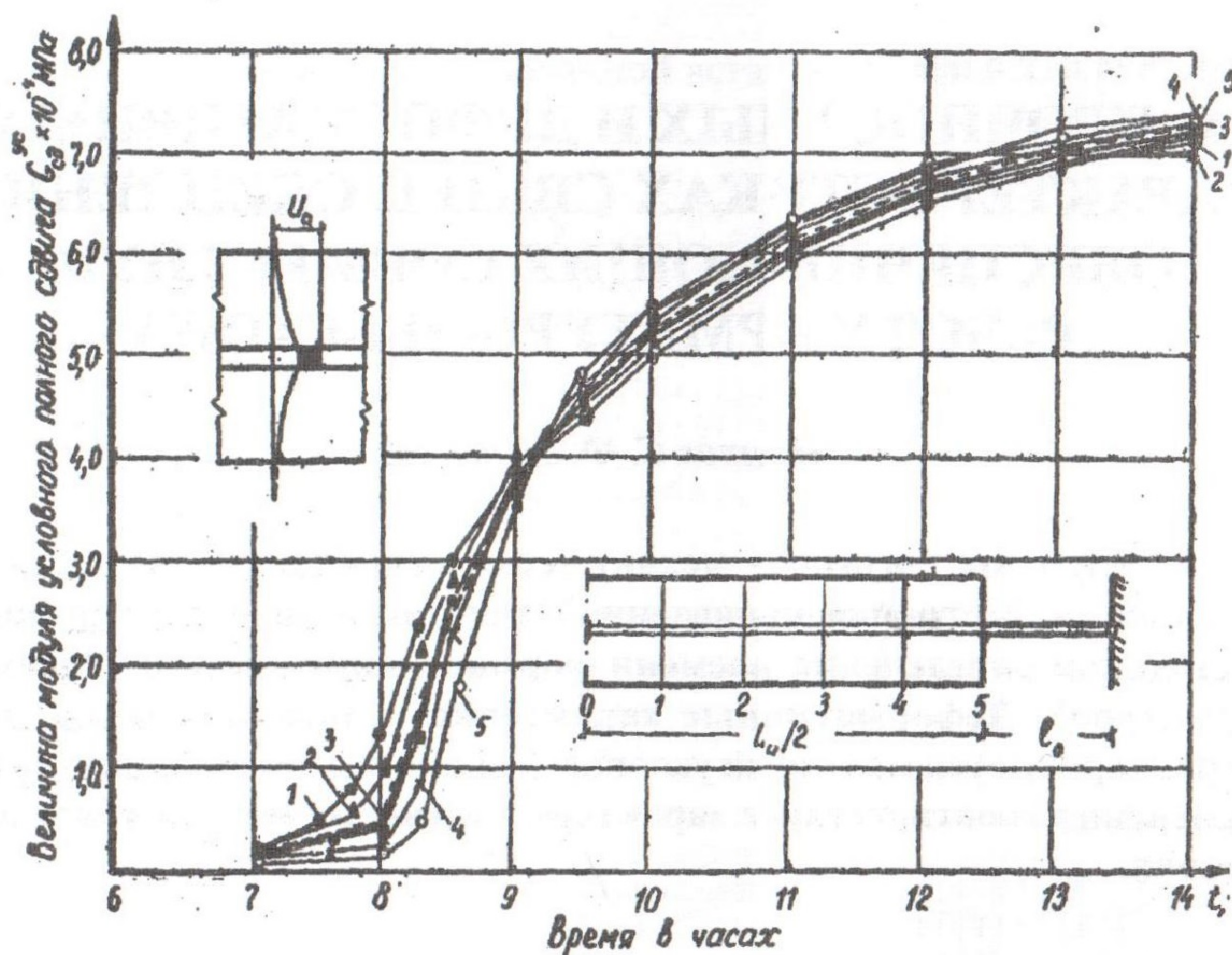


Рис. 1

На основании работы [3] зависимость (1) для кратковременного действия нагрузки при выдергивании стальных стержней из бетонных призматических образцов можно представить как

$$U_a(x, \tau, S) = K(x, \tau, S) S(x, \tau), \quad (2)$$

где $K(x, \tau, S)$ — коэффициент пропорциональности, величина об-

ратная так называемому модулю условного полного сдвига (МПа^{-1}).

$$G_{\text{сд}}^{\text{ус}}(x, \tau, S) = \frac{1}{K(x, \tau, S)} \quad (3)$$

$$S(x, \tau) = \frac{P(x, \tau)}{1} \text{ — среднее усилие, приходящееся на единицу дли-}$$

ны обетонированной арматуры; $L = 20 d$ — длина опытного образца.

Здесь, как и в (1), U_a — смещение арматуры относительно плоского сечения, в которое арматура и бетон при действии нагрузки приходятся одновременно, т.е. с соблюдением гипотезы плоских сечений (рис. 1).

Исследование прочностных и деформативных характеристик связей выполнялось для пяти поперечных сечений призматической сваи (рис. 1), изготавливаемой по стендовой технологии с характеристиками: $L_{\text{ст}} = 2750 \text{ см}$, $L_{\text{н}} = 1800 \text{ см}$, $L_0 = 475 \text{ см}$, $E_a = 2 \times 10^5 \text{ МПа}$, $P_0 = 45 \times 45 \text{ см}^2$, $F_a = 8\text{Ж}022 = 30,14 \text{ см}^2$.

Применялся бетон класса В35, состава 1:1,18:2,82 по весу с ВЦ = 0,364 на сульфатостойком портландцементе. Термообработка бетона осуществлялась по режиму 6+4+20+4 ч с начальной температурой 20 и температурой изотермического прогрева 70°C.

Для определения величины модуля условного полного сдвига центрально армированный образец 150 X 150 X 400 мм за 0,5 ч до начала термовлажностной обработки бетона устанавливали в пропарочную камеру на металлическую плиту сферического шарнира в вертикальное положение. С началом тепловой обработки бетона загруженный конец арматурного стержня (образец на выдергивание) с помощью силового устройства смещали относительно бетона с определенной скоростью, величину которой для каждого рассматриваемого сечения определяли расчетным путем по методике, изложенной в [1]. Продолжительность смещения в каждом сечении была увязана со временем формирования связей τ_e в том же сечении. В интересующие нас моменты времени к стержню непрерывно без толчков прикладывали первую ступень выдергивающей нагрузки. Эта ступень, как и все последующие, назначалась равной 0,10+0,15 от разрушающей контрольного образца-близнеца, который испытывали предварительно при непрерывном нагружении до разрушения. Скорости нагружения основного и контрольного образцов примерно одинаковые. Во время ступенчатого нагружения делали полминутные выдержки, в начале и конце которых измеряли смещение арматуры относительно бетона на загруженном и незагруженном концах

стержня и депланации (искривления) торцевых поверхностей образца. Величина U_a определялась как среднее значение между величинами смещений загруженного и незагруженного концов стержня.

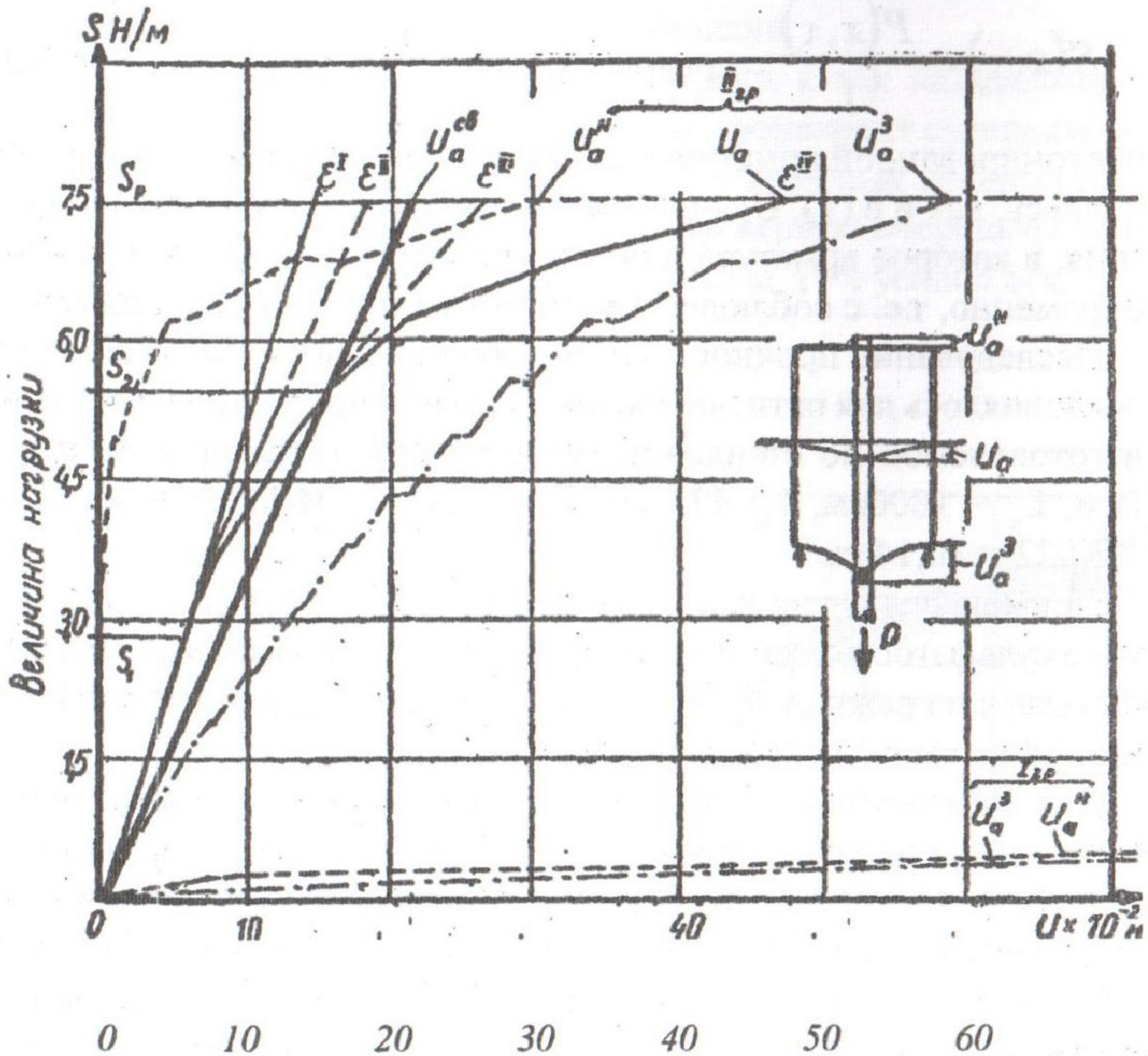


Рис. 2

На рис. 2 представлены диаграммы, построенные по экспериментальным данным, применительно к пятому сечению. Диаграммы относятся к двум характерным моментам времени: формированию связей по всей длине изделия ($\tau = 8$ ч) и час спустя ($\tau = 9$ ч).

Диаграммы, полученные в результате эксперимента, можно разбить на две группы. К первой относятся те, на которых смещения загруженного и незагруженного концов арматурного стержня начинаются одновременно с первого этапа нагружения. Различие в величинах этих смещений как минимум на порядок меньше самих величин. Судя по характеру кривых смещений, для данной группы диаграмм уже на первой ступени нагрузки для них характерно общее скольжение стержня, т.е. по всей длине заделки имеют место деформации связей пластического характера. Крайне

незначительное увеличение нагрузки оказывается возможным, по-видимому, за счет сил трения.

Ко второй группе относятся диаграммы, на которых смещение незагруженного конца арматурного стержня начинается несколько позже, чем на загруженном, например на второй, третьей и т. д. ступенях нагрузки. В этом случае различие в смещениях двух концов стержня (образец на выдергивание) достигает существенных величин.

Для выявления характера зависимости смещений от величины нагрузки диаграмму нагрузка — смещение U_a , полученную при выдергивании арматуры из бетонных призм, естественно сопоставить с диаграммой удлинений стержня, не имеющего связей с бетоном U_a^{cb} (рис. 2). Отметим, что на протяжении всех этапов нагружения свободная от связей с бетоном арматура длиной $L = 20 d$ работает в упругой стадии, поэтому всякое изменение углов наклона диаграммы U_a по отношению к U_a^{cb} отражает изменение напряженного деформированного состояния контактного слоя бетона. В результате сравнения на диаграммах U_a , по аналогии с [4], можно выделить три участка.

Первый участок характеризуется тем, что до определенной нагрузки S_1 (первая параметрическая точка [4]) величина модуля условного полного сдвига $G_{сд}^{ус}$ сохраняет почти постоянные значения, причем угол наклона графика смещений стержня, связанного с бетоном U_a больше угла наклона графика удлинений стержня, не имеющего таких связей U_a^{cb} .

Второй участок наблюдается при появлении заметных отклонений графика U_a от прямой. Точка пересечения диаграмм U_a^{cb} является своеобразной точкой, в которой происходит существенное изменение напряженно-деформированного состояния контактного слоя бетона. Поэтому можно считать, что уровню усилий S_2 соответствует вторая параметрическая точка. Величина $G_{сд}^{ус}$ на данном участке, в отличие от первого, претерпевает существенные изменения.

И наконец, третья стадия нагружения. Здесь процесс разрушения связей прогрессирует очень быстро, что отражается в резком изменении угла наклона графика U_a . Испытание заканчивается полным разрушением контактного слоя по всей длине заделки и вытягиванием стержня из бетона (угол наклона графика равен нулю).

Наличие различных участков на диаграмме связано с особенностями напряженно-деформированного состояния контактного слоя бетона, окружающего стержень. Так, для первого участка нагружения смещение незагруженного конца стержня относительно бетона равно нулю, а это значит, что длина участка активного сцепления L_3 меньше длины образ-

ца L , т. е. существует участок длиной $L - L_3$ способный работать в условно-упругой стадии напряженно-деформированного состояния (смещения прямо пропорциональны нагрузке).

Нагрузка $S > S_1$ приводит к появлению смещений на незагруженном конце стержня: начинается некоторое скольжение стержня. Остаточные деформации, развивающиеся в области нагрузки $S_1 < S < S_2$, рассматриваем как пластические деформации 2-го рода [5], характеризующие появление выраженной нелинейной ползучести, связанной с нарушением связей на поверхности контакта арматуры и бетона. Выше границы S_2 скорости роста смещений на обоих концах заделанного в бетон стержня практически одинаковы, т. е. происходит общее скольжение стержня. Об остаточных деформациях в этой области можно говорить как о псевдопластических, которые связаны с развитием самоускоренных процессов деформаций, приводящих к разрушению контактного слоя бетона.

Учитывая вышеизложенное, считаем величину полной деформации контактного слоя бетона состоящей из условно-упругой деформации ϵ^I , деформации ползучести ϵ^{II} , пластических деформаций второго рода ϵ^{III} (выше границы S_1) и псевдопластических деформаций ϵ^{IV} (выше границы S_2) [4] (рис. 2).

Данные, полученные при выдергивании арматурных стержней из бетонных призм для различных возрастов бетона, позволяют установить, что первая параметрическая точка S_1 находится в пределах от 0,37 до 0,45 от разрушающей нагрузки S_p . При этом нижняя граница соответствует бетону более молодого возраста, начиная с $\tau = 9$ ч, и наоборот.

Результаты экспериментальных исследований потерь преднапряжения в период термовлажностной обработки железобетонных предварительно-напряженных изделий показывают, что формирующиеся при этом усилия, как правило, ниже границы S_1 . Для этой области выражение (2) можно представить в вид

$$U_a(x, \tau) = K(x, \tau)S(x, \tau) \quad (4)$$

На рис. 1 приведены результаты экспериментальных исследований зависимости величины модуля условного полного сдвига от положения рассматриваемого сечения по длине изделия. Из этих кривых видно, что только в интервале от 7 до 9 ч, считая от момента укладки бетона, исследуемая зависимость носит отчетливо выраженный характер, а приведенные данные подтверждают полученные ранее результаты о неодновременном формировании связей по длине преднапряженных железобетонных изделий. Как и следовало ожидать, в процессе формирования связей по длине изделия рассматриваемые сечения 1—5 обладают

различными прочностными и деформативными характеристиками. При этом, чем ближе сечение к центру изделия, т. е. чем раньше в нем формируются связи между бетоном и арматурой, тем больше величина модуля условного полного сдвига. После того, как процесс формирования связей заканчивается по всей длине изделия $\tau = 8$ ч [4], различие между величинами $G_{сд}^{ус}$, для 1—5 сечений начинает быстро уменьшаться и уже через час ($\tau = 9$ ч) составляет немногим больше 5%, а сами величины с увеличением возраста бетона изменяются примерно по одному и тому же закону.

Изложенные соображения позволяют сделать вывод о том, что учет зависимости величины модуля условного полного сдвига от положения рассматриваемого по длине изделия сечения не имеет практического смысла. Поэтому на рис. 1 утолщенной линией изображена зависимость величины от возраста бетона τ , построенная для некоторого среднего сечения, пунктирной — кривая, аппроксимирующая полученную зависимость по формуле для

$$7 < \tau < 8 \text{ ч}$$

$$G_{сд}^{ус}(\tau) = 0,5(\tau - 7) + 0,05 \quad (5)$$

$$\text{для } 8 < \tau < 15 \text{ ч}$$

$$G_{сд}^{ус}(\tau) = 7,8 \left[1 - 0,6465e^{-0,3877(\tau-8)} - 0,27309e^{-1,3603(\tau-8)} \right] \quad (6)$$

Принимая во внимание изложенные предложения зависимость (2) с учетом (4) запишется в виде

$$U_a(\tau) = K(\tau)S(\tau) \quad (7)$$

Принятие для различных сечений изделия усредненного закона изменения $G_{сд}^{ус}$ не исключает необходимости учета последовательного формирования связей между арматурой и бетоном во времени.

Результаты работы дают возможность определять потери преднапряжения от температурного перепада с учетом прочностных и деформированных характеристик связей, формирующихся между арматурой и бетоном в процессе термовлажностной обработки предварительно-напряженных изделий.

Литература

1. Неутгов С. Ф. О формировании сцепления между арматурой и бетоном в процессе термообработки изделий.—Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1980, № 3.

2. Оатул А. А., Цехмистров В.М. Опыт построения теории сцепления арматуры с бетоном. (Сб. тр. Уралнипстромпроекта). Южно-Уральское изд-во, 1967.
3. Фрайфельд С. Е. Собственные напряжения в железобетоне.— М, Стройиздат Наркомстроя, 1941.
4. Берг О. Я., Щербаков Е. Н., Писанко Г. Н. Высокопрочный бетон.—М., Госстройиздат, 1971.
5. Берг О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона,— М., Госстройиздат, 1961.