

УДК 624.012.454

## ДАВЛЕНИЕ НА БЕТОН АРМАТУРНОГО СТЕРЖНЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

канд. техн. наук А.А. ХОТЬКО, П.П. ЖУКЬЯН  
(Полоцкий государственный университет)

Представлены результаты экспериментальных исследований поперечного давления арматуры периодического профиля на бетон, выполненных на основе сравнительных испытаний на вытягивание из бетона арматуры с серповидным профилем по ГОСТ 10884 и с четырехсторонним серповидным профилем по ТУ ВУ 400074854.026-2005. В результате испытаний установлено, что нарушение сцепления арматуры с бетоном во всех образцах происходило в результате раскалывания бетона на три составные части. Показано распределение поперечных деформаций бетона в центрально-армированных цилиндрических образцах с арматурой исследуемых профилей. Установлено, что более равномерное распределение по периметру сечения площади смятия поперечных ребер арматуры с четырехсторонним серповидным периодическим профилем приводит к уменьшению поперечных деформаций бетона и, как следствие, к более равномерному распределению напряжений распора.

**Введение.** В производстве железобетонных изделий в настоящее время Республика Беларусь по примеру европейских стран перешла на использование стержневой арматуры серповидного периодического профиля. За счет лучшей конструкции профиля, выражающейся в отсутствии пересечений продольных и поперечных ребер, такая арматура имеет комплекс эксплуатационных свойств, существенно лучших, чем у арматуры с кольцевым профилем по ГОСТ 5781. Механические параметры арматуры с серповидным периодическим профилем на 5...10 % выше, выносливость в 1,5...2 раза больше, меньше изнашиваемость прокатных валков при производстве арматуры. Кроме того, Белорусский металлургический завод освоил выпуск проката арматурной стали как серповидного периодического профиля с различными значениями высоты и шага поперечных выступов, так и с профилями другой конфигурации (винтовой, четырехсторонний серповидный и пр.). Между тем периодический профиль, наносимый на поверхность арматуры при ее производстве, является наиболее важным параметром, влияющим на сцепление арматурных стержней с бетоном, и должен обеспечивать приемлемое сочетание таких показателей, как максимальная прочность сцепления, ограничение прогибов и раскрытия трещин, а также минимальный распор, вызывающий откалывание защитного слоя и продольное раскалывание [2, 5, 9].

Многочисленные исследования показали, что когда выступы стержня высокие и расположены близко друг к другу (соотношение высоты поперечных выступов к их шагу ( $h_s/t$ ) больше 10), в большей мере проявляются касательные напряжения в бетоне, вследствие чего происходит проскальзывание стержня. Такой характер взаимодействия с бетоном типичен для арматуры с кольцевым периодическим профилем по ГОСТ 5781. Если расстояние между выступами превышает их высоту примерно в 10 раз и более, то частично раскрошенный бетон может образовывать клин под выступом, и разрушение обычно происходит вследствие растрескивания окружающего бетона (характерно для арматуры с серповидным периодическим профилем по ГОСТ 10884) [1, 4 – 9].

Два вида механизма разрушения, связанных с положением выступов на арматуре, показаны на рисунке 1.

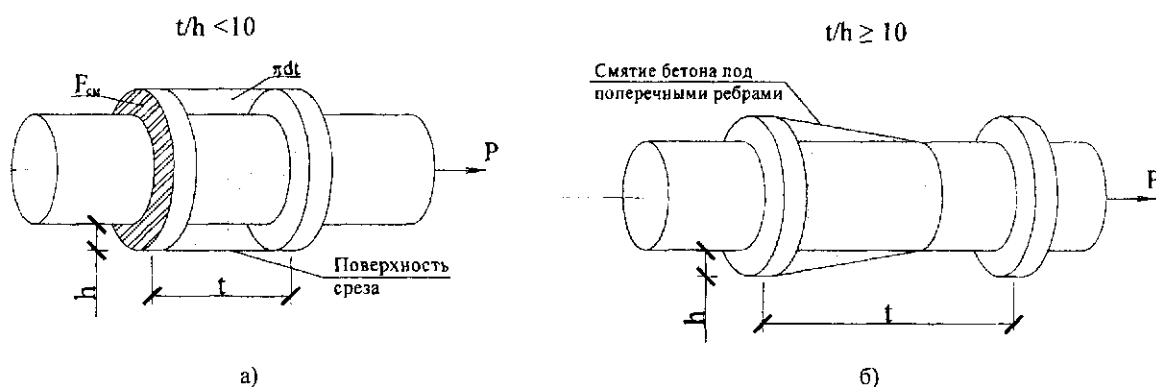


Рис. 1. Механизм разрушения бетона у выступов арматуры:  
а – срез; б – смятие

Заметим, что у арматуры с серповидным профилем в разных сечениях по периметру стержня будет отличаться отношение высоты поперечных выступов к их шагу (рис. 2, сечения «А» и «С»). Это может привести к различным величинам распора у выступов по периметру стержня, а значит к более раннему раскалыванию бетона. В нормах принято, что нарушение сцепления арматуры с бетоном от продольного раскалывания бетона является наиболее опасной схемой разрушения и в принципе недопустимо [7, 10].

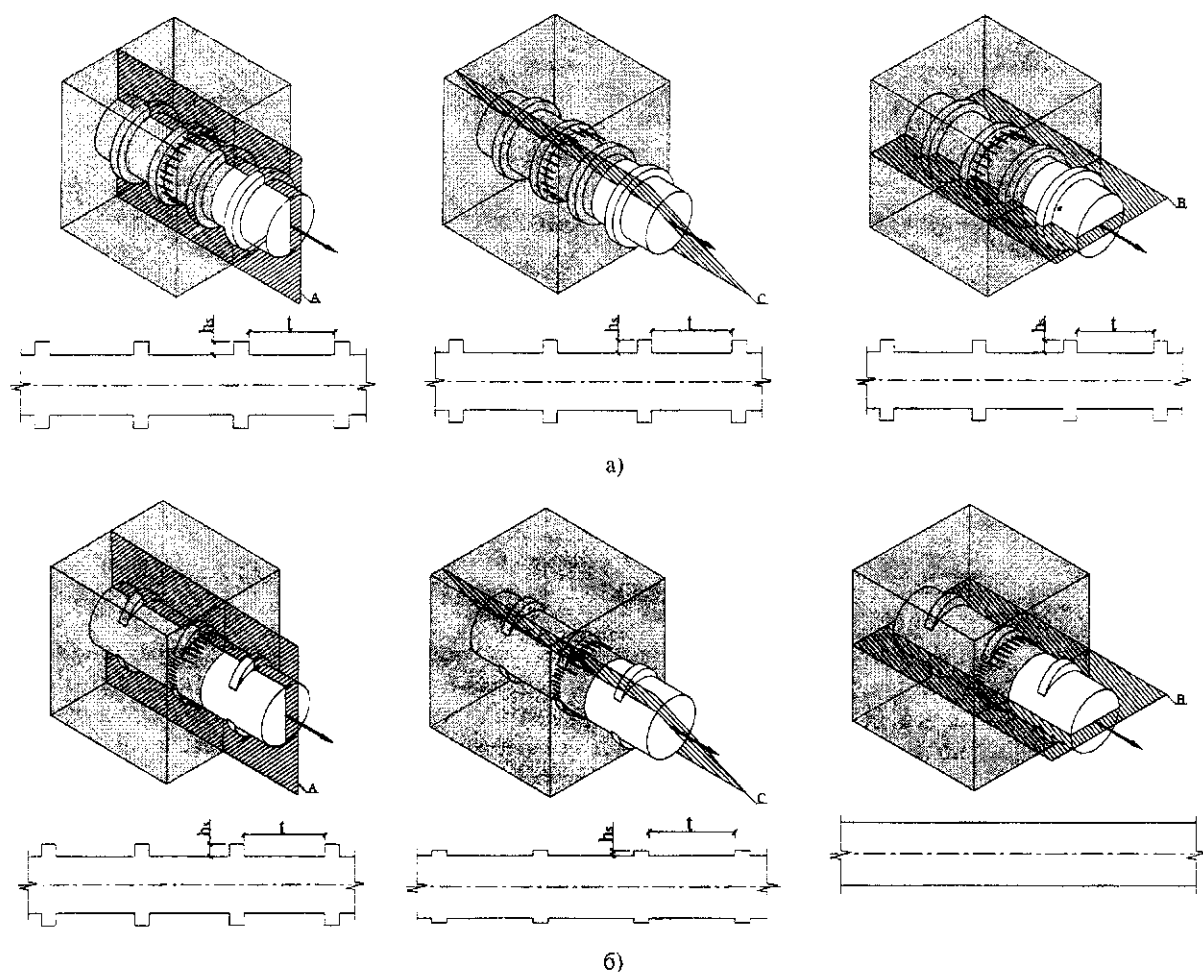


Рис. 2. Механизм взаимодействия бетона с арматурой с кольцевым (а) и серповидным (б) профилями в различных сечениях по периметру стержня

**Цель и задачи исследований.** По предложению НИИЖБ в 2004 году РУП «БМЗ» освоил прокатку арматуры согласно ТУ 14-1-5497-2004 с новым периодическим профилем, в котором, по мнению разработчиков, объединены положительные качества кольцевого и серповидного профилей.

Разработанный в НИИЖБе четырехсторонний профиль имеет серповидное оребрение всей поверхности сердечника в каждом ряду. Благодаря более равномерно распределенной по периметру сечения площади смятия поперечных ребер у него достигается более равномерное распределение напряжений распора.

Что касается информации о влиянии вида периодического профиля на его распорность, учеными в основном исследовался вопрос о характере разрушения образцов с арматурой различных профилей. Однако не менее важно владеть информацией о деформациях бетона. Такие исследования проводились в основном только с арматурой кольцевого периодического профиля по ГОСТ 5781. Кроме того, выполнявшиеся ранее исследования в основном проводили с образцами призматической формы, т.е. с прямоугольным в плане сечением, что не позволяло в полной мере выявить влияние вида профиля арматуры на поперечные деформации бетона [3].

Исходя из вышесказанного, была поставлена цель – определить влияние периодического профиля арматуры на величину и распределение поперечных деформаций бетона.

**Опытные образцы и методика их испытаний.** Для решения поставленной задачи были проведены испытания на вытягивание арматурных стержней из бетонных цилиндров согласно рекомендациям ЕКБ/ФИП. Исследования выполнялись на основе сравнительных испытаний на выдергивание из бетона арматуры  $\varnothing 25$  мм класса S500 с различными видами периодического профиля (рис. 3): серповидный по ГОСТ 10884; серповидный четырехсторонний ТУ ВУ 400074854.026-2005.

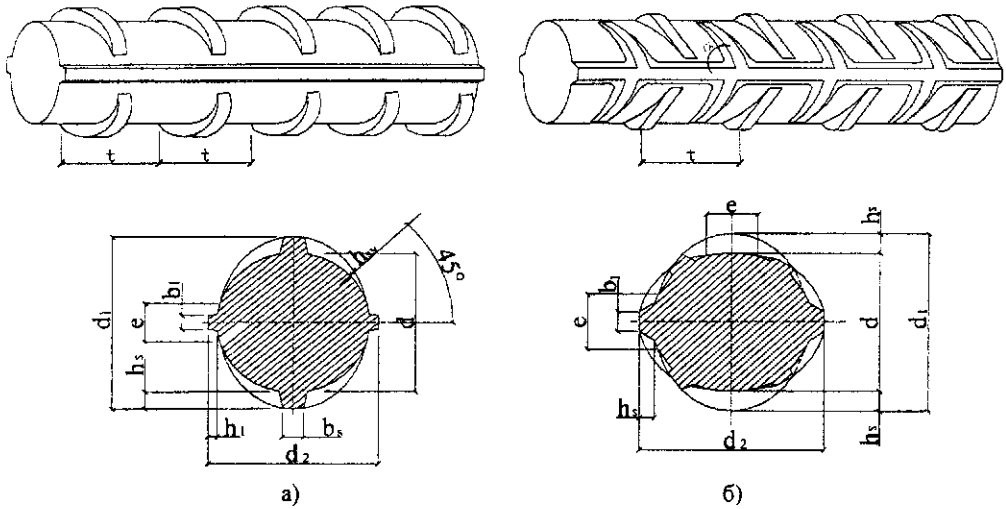


Рис. 3. Виды исследуемых периодических профилей арматуры:  
 а – серповидный профиль по ГОСТ 10884-94;  
 б – четырехсторонний серповидный профиль по ТУ ВУ 400074854.026-2005

Контроль геометрических параметров профиля арматуры производился при помощи глубиномера до формования образцов. Параметры профилей арматуры представлены в таблице. Опытные образцы для испытания на сцепление представляли собой центрально-армированные бетонные цилиндры с диаметром основания  $D = 300$  мм и высотой  $H = 250$  мм. Величина заделки арматуры в бетон составляла 175 мм, при этом в другой части высоты образца сцепление с арматурой искусственно исключалось (стержень заключался в изолирующий материал).

Параметры профилей арматуры опытных образцов

Вид периодического профиля	Номинальный диаметр $\varnothing$ , мм	Диаметр сердечника, $d$	$e$	Шаг периода, $t$	Высота продольного ребра, $h_l$	Высота поперечного ребра, $h_s$	$h_{SV}$	Ширина продольного ребра, $b_l$	Ширина поперечного ребра, $b_s$	Угол наклона поперечных ребер к оси стержня, $\alpha^\circ$	Относительная площадь смятия, $f_R$
Четырехсторонний серповидный, по ТУ ВУ 400074854.026-2005	12	11,3	3,6	9	1,0	1,0	не регламентировано	1,5	1,0	60	0,075
	16	15,2	5,6	12	1,2	1,2	"-	2,0	1,2	60	0,076
	25	24,1	8,8	15	1,6	1,6	"-	2,0	1,5	60	0,078
Серповидный по ГОСТ 10884	12	11,3	3,8	8	1,2	1,0	0,7	2,0	1,2	60	0,057
	16	15,2	5,0	10	1,3	1,2	0,9	2,0	1,6	60	0,057
	25	24,1	6,0	16,0	1,5	1,7	1,3	2,0	2,5	60	0,071

Изготовление образцов выполнялось в жестких стальных формах. Уплотнение бетонной смеси при укладке в форму осуществлялось с помощью глубинного вибратора. После уплотнения бетона образцы выдерживались в течение 3-х суток под слоем влажных опилок. После распалубки хранились в естественных условиях. Схема опытных образцов для испытания на сцепление представлена на рисунке 4.

Для определения прочностных характеристик бетона были изготовлены кубы с размерами ребер  $100 \times 100 \times 100$  мм, призмы с размерами ребер  $100 \times 100 \times 400$  мм в соответствии с ГОСТ 1080-78 «Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение». Кубы и призмы при бетонировании и твердении находились в тех же условиях, что и основные образцы. Призменная прочность бетона по результатам испытаний составила 22,5 МПа в возрасте 28 суток.

Испытания проводили на разрывной машине Р50. Бетонный образец фиксировался при помощи системы траверс, 4-х тяжей и зажимов к подвижному захвату разрывной машины так, чтобы свободный конец арматуры проходил между нижними фиксирующими траверсами, и закреплялся в неподвижном захвате разрывной машины (рис. 5). Перед нагружением производилось центрирование образца. Опира-ние образца на траверсу при помощи цементного раствора, через стальную опорную пластину с центральным отверстием диаметром 175 мм. Это обеспечивает практически полное свободное проявление деформаций нижних горизонтальных сечений бетона.

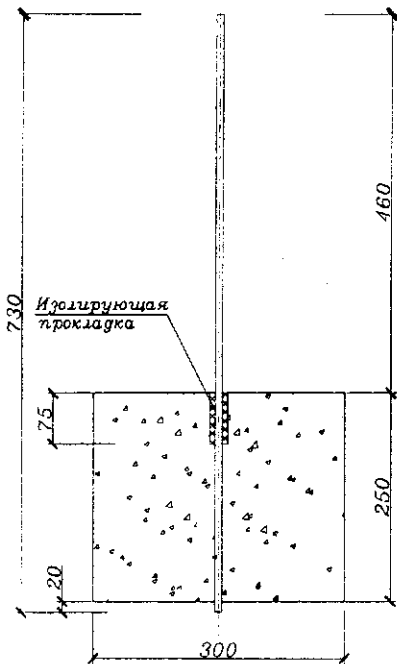


Рис. 4. Схема опытных образцов для испытания на сцепление

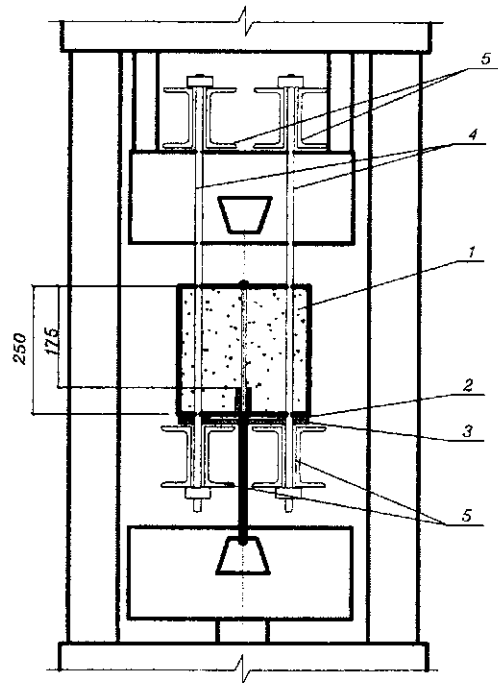


Рис. 5. Схема установки для испытания на вытягивание арматурных стержней из бетонных цилиндров:  
1 – опытный образец; 2 – стальная опорная пластина;  
3 – пластина для опирания на траверсу; 4 – тяжи;  
5 – фиксирующие траверсы

Усилия прикладывались к стержню этапами с разностью в 25 МПа. Нагрузку регистрировали по шкале силоизмерителя разрывной машины на каждом этапе до момента нарушения сцепления.

В процессе испытаний контролировали:

- 1) характер нарушения сцепления и максимальное усилие, при котором сцепление не нарушено;
- 2) поперечные деформации бетона цилиндра в направлениях, перпендикулярных плоскостям, проходящим через продольные и поперечные ребра арматурных стержней.

Поперечные деформации бетона образца измеряли при помощи тензодатчиков с базой 50 мм, наклеиваемых на торцевую поверхность бетона в непосредственной близости к арматуре, а также на боковую поверхность бетона на расстоянии 175 мм от незагруженного торца образца – начало заделки арматуры (рис. 6). Тензодатчики Т2, Т4, Т10 и Т12 наклеены перпендикулярно плоскости, проходящей через продольные ребра арматуры; тензодатчики Т1, Т3, Т9 и Т11 – перпендикулярно плоскости, проходящей через поперечные ребра арматуры.

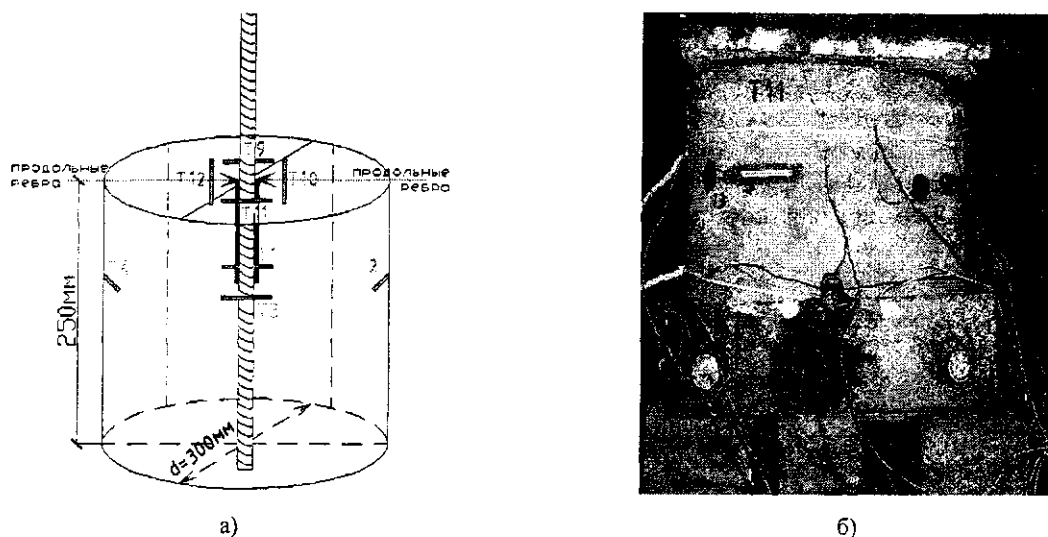


Рис. 6. Места наклейки тензодатчиков (а) и внешний вид образца для испытания (б)

**Результаты экспериментальных исследований.** В результате испытаний было установлено, что нарушение сцепления арматуры с бетоном во всех образцах происходило в результате раскалывания бетона на три составные части. Внешний вид образцов с арматурой по ГОСТ 5781 и ТУ ВУ 400074854.026-2005 после испытания показан на рисунке 7.



Рис. 7. Внешний вид образцов после испытания

Направление одной из раскалывающих трещин во всех опытных образцах всегда совпадало с плоскостью, проходящей через продольные ребра арматуры.

Максимальные напряжения на загруженном конце арматурного стержня на этапе, предшествующем разрушению, составили:

- для образца с арматурой серповидного профиля 484 МПа;
- с арматурой четырехстороннего серповидного профиля – 458 МПа.

Графики зависимости относительных поперечных деформаций бетона от напряжений на загруженном конце арматуры, полученные в ходе экспериментов, показаны на рисунках 8 – 11.

Результаты анализа распределения поперечного давления показали, что во всех образцах деформации бетона в направлении, перпендикулярном сечению, проходящем через продольные ребра арматуры (на графиках показаны сплошной линией), превышали деформации в направлении, перпендикулярном сечению, проходящем через поперечные ребра (прерывистая линия на графиках). Поперечное давление на бетон арматуры с серповидным профилем по ГОСТ 10884 на всех этапах нагружения было большим, чем для случая с арматурой четырехстороннего серповидного профиля по ТУ ВУ 400074854.026-2005. Так, на этапе, предшествующем моменту нарушения сцепления арматуры с бетоном, максимальные измеренные относительные поперечные деформации бетона торцевой поверхности цилиндра для образца с арматурой, соответствующей ГОСТ 10884, составили  $129,5 \cdot 10^{-6}$ , для образца с арматурой, соответствующей ТУ ВУ 400074854.026-2005, –  $88,5 \cdot 10^{-6}$ .

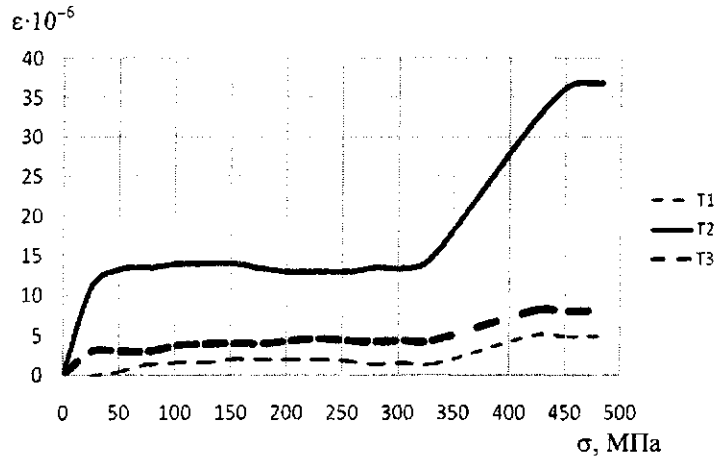


Рис. 8. Зависимость относительных поперечных деформаций бетона боковой поверхности образца с арматурой серповидного профиля по ГОСТ 10884 от напряжений на загруженном конце арматуры

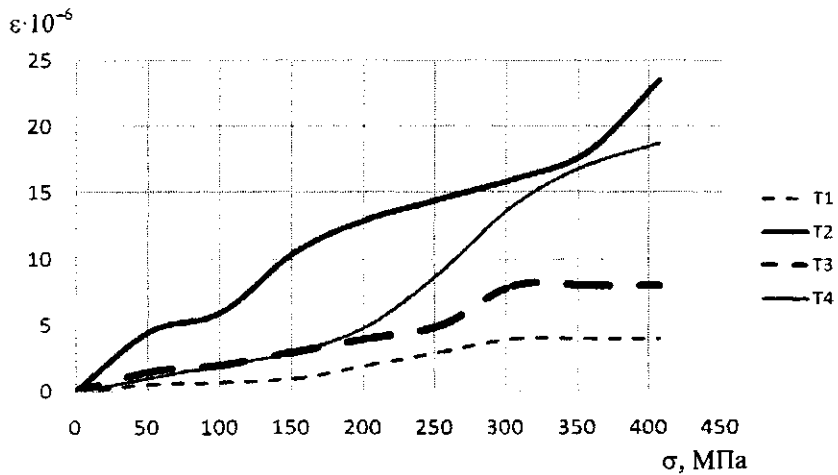


Рис. 9. Зависимость относительных поперечных деформаций бетона боковой поверхности образца с арматурой четырехстороннего серповидного профиля по ТУ ВУ 400074854.026-2005 от напряжений на загруженном конце арматуры

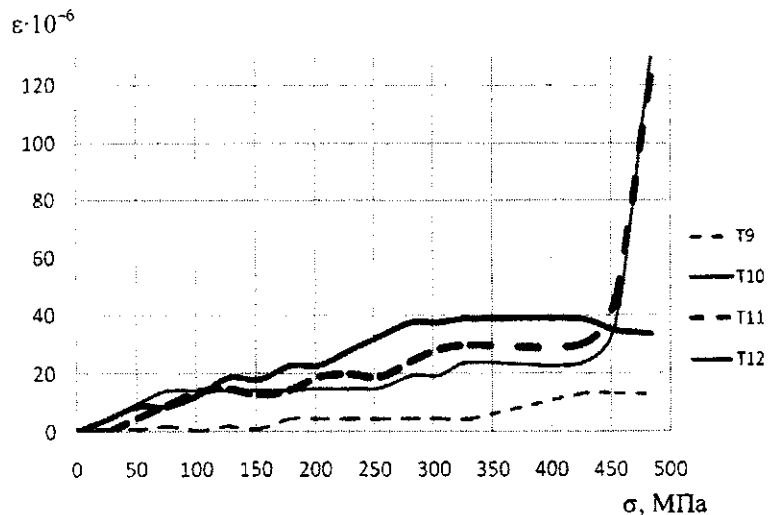


Рис. 10. Зависимость относительных поперечных деформаций бетона торцевой поверхности образца с арматурой серповидного профиля по ГОСТ 10884 от напряжений на загруженном конце арматуры

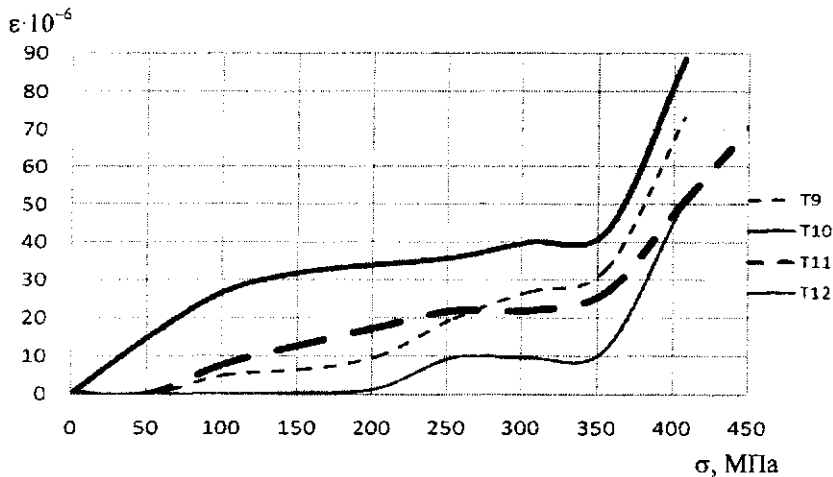


Рис. 11. Зависимость относительных поперечных деформаций бетона торцевой поверхности образца с арматурой четырехстороннего серповидного профиля по ТУ ВУ 400074854.026-2005 от напряжений на загруженном конце арматуры

**Заключение.** Получены опытные данные распределения поперечных деформаций бетона в различных сечениях по периметру арматурного стержня с периодическими профилями, соответствующими ГОСТ 10884 и ТУ ВУ 400074854.026-2005.

Установлено, что более равномерное распределение по периметру сечения площади смятия поперечных ребер арматуры с четырехсторонним серповидным периодическим профилем приводит к уменьшению поперечных деформаций бетона и, как следствие, к более равномерному распределению напряжений распора. Однако, как показали опытные данные, имеющаяся разница в поперечном давлении не оказала значительного влияния ни на характер нарушения сцепления с бетоном арматуры исследуемых видов профилей, ни на величину нагрузки, предшествующей моменту разрушения образцов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев, Ш.А. Сопротивление бетона раскалыванию арматурой / Ш.А. Алиев // Сб. тр. ВНИИжелезобетон. – М., 1961. – Вып. 5. – С. 61 – 78.
2. Дегтярев, В.В. О статье И.Н. Тихонова, В.З. Мешкова, Г.Н. Судакова «О нормировании анкеровки стержневой арматуры» / В.В. Дегтярев // Бетон и железобетон. – 2007. – № 1. – С. 25 – 28.
3. Драган, А.В. О выборе методики исследования сцепления стальной арматуры с бетоном / А.В. Драган // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 12 – 17.
4. Коршунов, Д.А. Анкеровка арматуры в бетоне / Д.А. Коршунов // Бетон и железобетон в Украине. – 2001. – № 4. – С. 18 – 21.
5. Мулин, Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций / Н.М. Мулин. – М.: Стройиздат, 1974. – 233 с.
6. Характер сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей / А.С. Семченков [и др.] // Бетон и железобетон. – 2007. – № 5. – С. 2 – 7.
7. Тихонов, И.Н. К дискуссии по статье «О нормировании анкеровки стержневой арматуры» / И.Н. Тихонов, В.З. Мешков, Г.Н. Судаков // Бетон и железобетон. – 2007. – № 1. – С. 28 – 30.
8. Холмянский, М.М. Экспериментальное определение поперечного давления арматуры периодического профиля на бетон / М.М. Холмянский, Ш.А. Алиев, Ф.С. Белавин / Труды ВНИИжелезобетона. – М., 1964. – Вып. 9. – С. 114 – 125.
9. Холмянский, М.М. Контакт арматуры с бетоном / М.М. Холмянский. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с.
10. Хотько, А.А. Прочность сцепления с бетоном арматуры различного периодического профиля / А.А. Хотько, Ю.В. Попков // Вести. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Прикладные науки. – 2005. – № 3. – С. 188 – 195.

Поступила 12.05.2008