

## ЛИТЕРАТУРА

1. Basiewicz T. „Nawierzchnia kolejowa z podkładami betonowymi” WKŁ. Warszawa 1978 г.
2. Bałuch H. „Diagnostyka kolejowa” WKŁ. Warszwa 1969 г.
3. Золоторский А.Ф. и другие: „Железобетонные шпалы для рельсового пути.” Транспорт. Москва. 1980 г.

УДК 624.012.46.072.232

Терин В.Д., Хотько А.А.

### АНКЕРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Совместная работа арматуры и бетона, как критерий надежности железобетонных конструкций, возможна только при наличии надежного сцепления между ними. В изгибаемом железобетонном элементе сцепление выполняет функции анкеровки арматуры и вовлечения в работу бетона.

Сцепление порождается действием ряда химических, физических и механических факторов:

1. Склеиванием (адгезией) цементного геля с арматурой.
2. Трением, вызванным радиальным давлением от усадки бетона.
3. Зацеплением за бетон микронеровностей поверхности арматуры и выступов профиля и соответствующим сопротивлением бетонных консолей смятию, срезу и действию главных растягивающих напряжений.
4. Заклиниванием арматуры в бетоне с появлением распора и соответствующих сил трения.
5. Трением, вызванным поперечным обжатием бетона внешней нагрузкой [2].

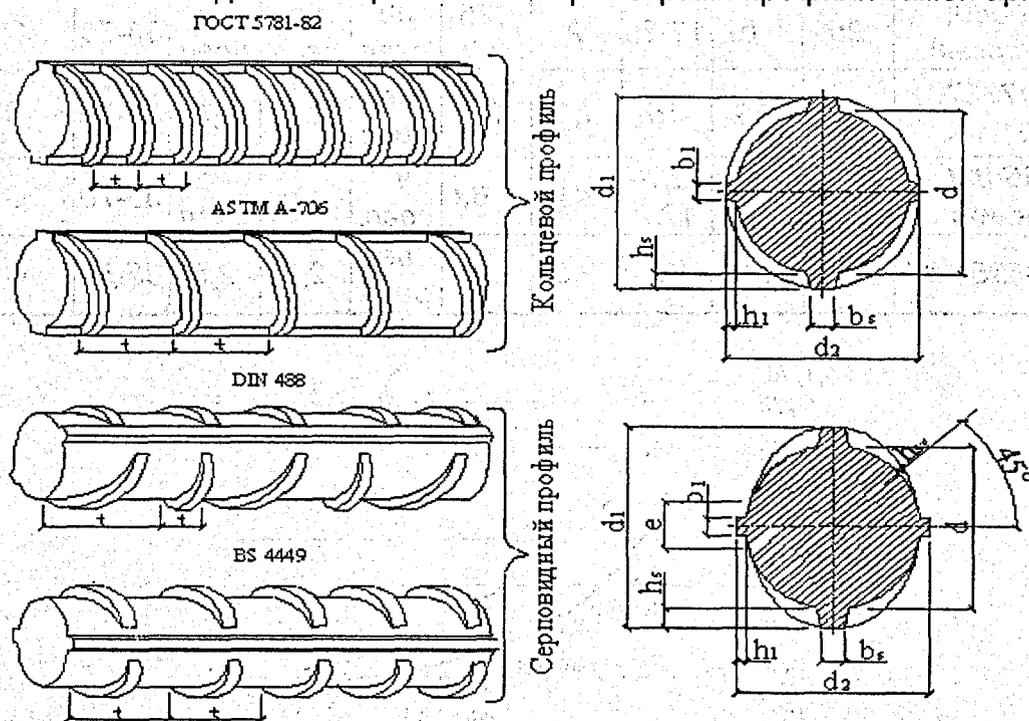
Степень сцепления принято оценивать величиной условного касательного напряжения сцепления  $\tau$ , действующего на условной цилиндрической поверхности контакта арматуры с бетоном. Для разных случаев каждый из перечисленных выше факторов играет различную роль в формировании величины  $\tau$  [1, 2, 6]. Однако в любом случае наибольшее влияние оказывает третий фактор зависящий от периодического профиля, наносимого на поверхность арматуры в процессе ее изготовления и характеристик бетона [1, 2, 6, 7]. В этой связи совершенствование формы и параметров периодического профиля арматуры является важной задачей, нацеленной в конечном итоге на улучшение эксплуатационных характеристик железобетонных конструкций и повышение их надежности.

Главными параметрами периодического профиля, влияющими на сцепление арматуры с бетоном, считаются шаг профилировки и высота профиля. Однако за основу оценки влияния параметров периодического профиля стержневой арматуры на сцепление с бетоном принимается величина относительной площади смятия (критерий Рэма  $-f_R$ ), как более универсальный параметр, оказывающий влияние и на трение и на склеивание, равный отношению площади смятия к площади контакта арматуры с бетоном [6, 7].

$$f_R = \frac{F_R}{\pi \cdot d_n \cdot t}$$

где:  $F_R$  – площадь проекции боковой поверхности поперечных ребер на плоскость, перпендикулярную оси арматурного стержня;  
 $d_n$  – номинальный диаметр стержня;  
 $t$  – шаг поперечных выступов.

Назначение геометрических размеров профиля арматуры, является сложной технологической задачей, в связи с тем, что при этом должны удовлетворяться противоречащие друг другу требования. Этим, возможно, объясняется принципиальное различие в параметрах профилей различных стран. Кроме того, на строительном рынке Республики Беларусь появилось значительное количество арматуры произведенной по Техническим Условиям, предусматривающих параметры профиля отличные от профиля по ГОСТ 5781-82, что ставит возможным применение в железобетонных конструкциях арматуры с параметрами профиля отличающимися таким основным параметром как критерий Рэма почти в 4 раза (см. таблицу, рис. 1). Учитывая, что сцепление ненапрягаемой арматуры с бетоном влияет на длину зоны анкеровки на свободных опорах балок и длину зоны анкеровки в местах обрыва стержней, несомненно, эти величины должны оцениваться параметрами профиля самой арматуры.



**Рис. 1.**  
 Геометрические параметры профилей различных стран

Согласно СНиП 2.03.01-84\* величина анкеровки вычисляется по эмпирической формуле и зависит от прочности бетона но не предполагает зависимости от параметров профиля арматуры. Опытные данные, полученные при испытании железобетонных элементов, с арматурой различного периодического профиля, не соответствуют расчетным данным полученным не только по методике СНиП 2.03.01-84\* но и по другим методикам (рис. 2).

Таблица

Профиль	$d_n$	$e$	$t$	$h_1$	$h_s$	$h_{sv}$	$b_1$	$b_s$	$\alpha$	Вид профиля	$f_R$
	мм										
ГОСТ 5781-82	25	-	8,6	1,5	2,1	1,79	2,7	1,8	75	К	0,204
DIN 488 (Германия)	25	7,5	14,9/ 29,8	2,2	2,3	1,3	3,4	2,2		С	0,07
BS 4449 (Британия)	25	5,6	17,5	2,1	2,5	1,7	3,2	2,2	60	С	0,05
ASTM A-706 (США)	25	-	16,9	2,8	2,6	2	6,1	2,1	62	К	0,12
JIS G3112 (Япония)	25	10	17,8	не регл	1,3- 2,6	не регл	не регл	не регл	45	С	0,077
NS 3570 (Норвегия)	25	6,2	12,8- 17,3	1,75	1,63	1,13	не регл	не регл	не регл	С	0,056
EN 10080 (Евронормы)	25	$> b_1$	12-25	2	1,25- 2,0	не регл	не регл	не регл	35-75	С	0,054
ТУ РБ 04778771- 001	25	7,9	15	1,8	1,6	не регл	2,0	2,5	35-70	С	0,052
NF A35-016 (Франция)	25	7,8	12,7- 17,2	$< 4$	1,63	не регл.	$< e$	не регл	35-70	С	0,06
ТУ 14-1-5254-94	25	5,0	15	2,5	1,63	не регл	2,5	2,5	35-60	С	0,056

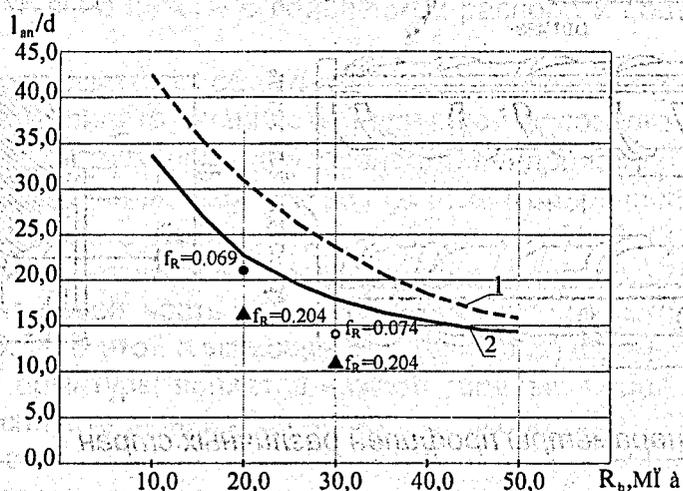


Рис. 2. Сравнение расчетных значений величин анкеровки с опытными данными.

Для достоверного учета влияния профиля арматуры на величину анкеровки, необходимо всесторонний анализ влияния параметров периодического профиля арматуры на ее сцепление с бетоном. Поэтому целью данной работы ставилось исследование влияния вида профиля ненапрягаемой арматуры на ее сцепление с бетоном.

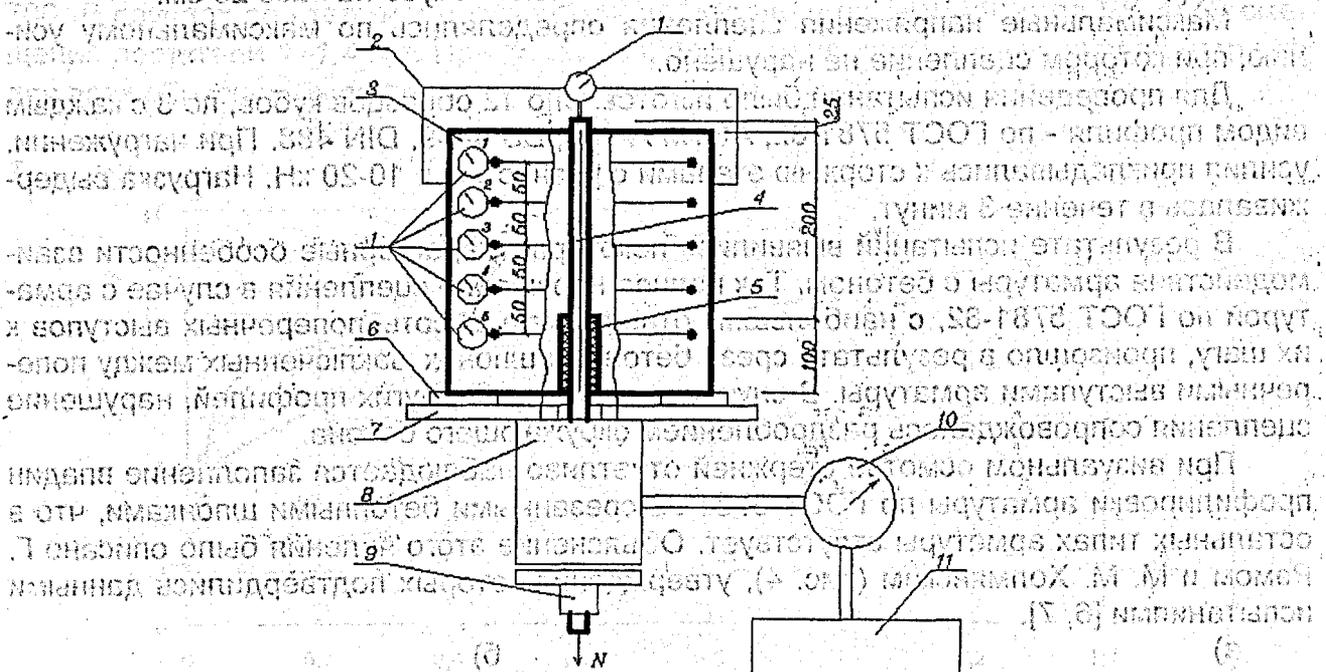
Для изучения влияния геометрических размеров и конструкции профиля арматуры на ее сцепление с бетоном были проведены испытания на вытягивание арматурных стержней из бетонных кубов или призм согласно рекомендациям РИ-

ЛЕМ/ЕКБ/ФИП [3]. По силовой схеме испытания представляют из себя «вытягивание арматуры из бетона»

Работа выполнялась на основе сравнительных испытаний стержневой арматурной стали диаметром 25 мм класса А-500 с периодическими профилями по ГОСТ 5781-82 (стандартный эталон), по DIN 488 (гармонизированный с серповидным профилем) по ТУ 14-2-949-91, по BS 4449:1988- стандарту Великобритании и по ASTM A-706- стандарт США. Выбор данных видов профилей основывался на максимальной разнице в величине относительной площади смятия и разнице данных арматурных стержней по виду профиля.

В качестве базового образца принимался бетонный куб с ребром 300 мм центрально армированный. При этом в одной части заделки (20 см) арматура находилась в контакте с бетоном, а в другой части (10 см) сцепление искусственно исключалось (стержень заключался в изолирующий материал).

Испытания проводились с помощью 25-ти тонного домкрата и ручной насосной станции. Стержень проводился сквозь отверстие в домкрате и заклинивался с обратной стороны цанговым зажимом (рис. 3). Опираие образца - насухо, через стальную опорную пластину с центральным отверстием диаметром 175 мм. Это обеспечивает практически полное свободное проявление деформации нижних горизонтальных сечений бетона для всех испытываемых образцов, т.е. ставит их в равные условия по этому фактору.



**Рис.3.**

**Испытательная установка**

1. Индикатор ИЧ-10;
2. Струбцина;
3. Бетонный куб;
4. Арматурный стержень;
5. Изолирующая прокладка;
6. Стальная опорная пластина;
7. Плита для опирания домкрата;
8. Домкрат;
9. Цанговый зажим;
10. Манометр;
11. Насосная станция

Для обеспечения надежного крепления арматуры в захватах, со стороны загружаемого конца предусматривался выпуск арматуры из бетона - 600 мм. Смещения арматуры измерялись при помощи индикатора часового типа с ценой деления - 0,01 мм, жестко закрепленном на струбцине, устанавливаемой на верхней части бе-

тонного образца и соединяемой с наружными слоями бетона, практически не деформируемыми при нагружении из-за наибольшего их удаления от стержня.

Формование образцов производилось в горизонтальном положении (для арматуры). Образцы формировались из высокоподвижной литой бетонной смеси, чтобы максимально исключить образование не плотностей у взаимного контакта арматуры и бетона.

После формования и уплотнения образцы выдерживались в течение 3-х суток под слоем влажных опилок. После распалубки хранились в естественных условиях. Перед испытанием была проведена проверка образцов на наличие усадочных трещин. Наличие трещин не обнаружено. Фактическая прочность бетона, определенная по результатам испытаний кубов на сжатие равнялась 24,5 МПа.

В процессе испытания на выдергивание контролировали следующие параметры:

1. Величину втягивания арматурных стержней  $g_0$ ;
2. Поперечные деформации бетона;
3. Характер нарушения сцепления арматуры с бетоном;
4. Максимальное напряжение сцепления  $\tau_{ct}$ .

Поперечные деформации бетона измеряли при помощи индикаторов часового типа, закрепленных на реперах приклеенных по высоте куба на базе 25 см.

Максимальные напряжения сцепления определялись по максимальному усилию, при котором сцепление не нарушено.

Для проведения испытаний было изготовлено 12 образцов кубов, по 3 с каждым видом профиля - по ГОСТ 5781-82, ASTM A-706, BS 4449, DIN 488. При нагружении, усилия прикладывались к стержню этапами с разностью в 10-20 кН. Нагрузка выдерживалась в течение 3 минут.

В результате испытаний выявились некоторые характерные особенности взаимодействия арматуры с бетоном. Так полное нарушение сцепления в случае с арматурой по ГОСТ 5781-82, с наибольшим отношением высоты поперечных выступов к их шагу, произошло в результате среза бетонных шпонок, заключенных между поперечными выступами арматуры. В случаях с арматурой других профилей, нарушение сцепления сопровождалось раздроблением окружающего бетона.

При визуальном осмотре стержней отчетливо наблюдается заполнение впадин профилировки арматуры по ГОСТ 5781-82 срезанными бетонными шпонками, что в остальных типах арматуры отсутствует. Объяснение этого явления было описано Г. Рэмом и М. М. Холмянским (рис. 4), утверждения которых подтвердились данными испытаниями [6, 7].

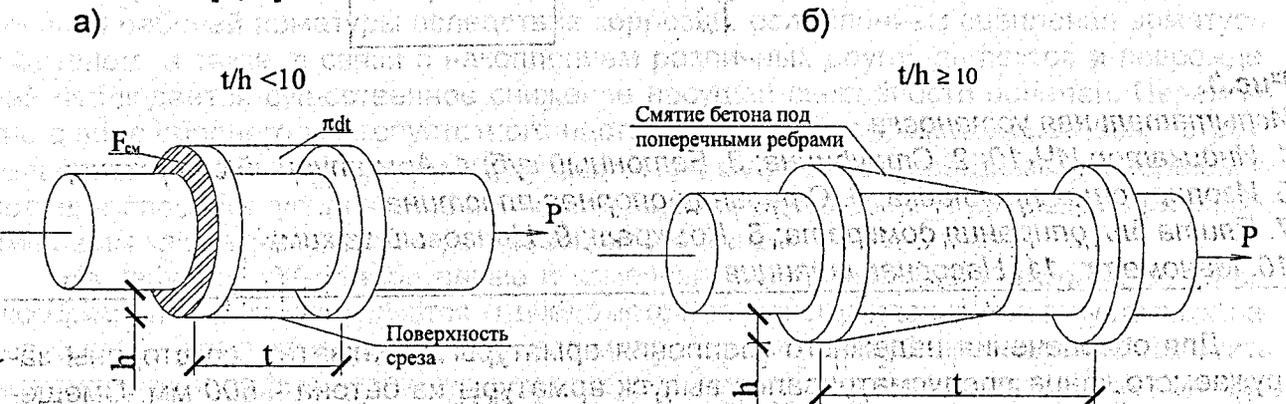
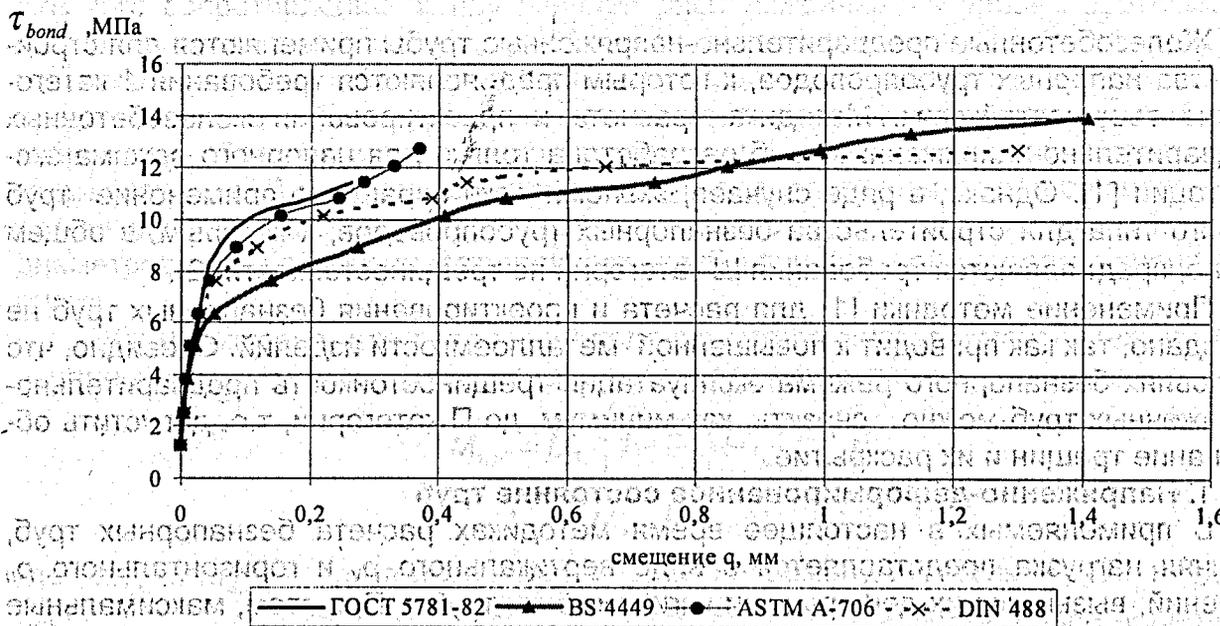


Рис. 4. Механизм разрушения бетона у выступов арматуры. а) срез; б) смятие

Измеряемые в процессе испытаний поперечные деформации бетона кубов, показали значительно большие деформации в случаях с арматурой с меньшим значением критерия Рэма. Данные зависимости можно объяснить характером разрушения бетона под выступами арматуры и развитием внутренних трещин при разнице в критерии Рэма [13]. Чем меньшим критерием Рэма обладает профиль арматуры, тем большее поперечное давление возникает в бетоне кубов. В случае с арматурой по BS 4449 с наименьшим значением критерия Рэма, в результате значительного поперечного давления, произошел раскол бетонного куба.

Одной из основных характеристик сцепления является зависимость напряжений сцепления от смещений ненагруженного конца арматуры относительно бетона, которая и была построена по результатам испытаний (рис. 5). Анализ экспериментальных данных показывает, что арматура с «серповидным» профилем имеет значительно большие смещения арматуры относительно бетона, нежели арматура с «кольцевым» профилем. Причем смещения ненагруженного конца были приблизительно одинаковы у всех стержней до нагрузки, соответствующей напряжению сцепления  $\tau_{bond} \approx 8$  МПа. Затем, при дальнейшем увеличении нагрузки, наблюдалось более интенсивное развитие смещений концов арматуры с «серповидным» профилем по сравнению с «кольцевым». Смещения порядка 0,2+0,4 мм оказались предельными для арматурных стержней кольцевого профиля по ГОСТ 5781-82 и по ASTM A-706. В случаях со стержнями серповидного профиля по DIN 488 и по BS 4449 смещения достигали 1+1,4 мм. При такой разнице в смещениях, разрушающая нагрузка для всех образцов была приблизительно одинаковой  $\tau_{bond} \approx 13$  МПа.



**Рис. 5.** Зависимость напряжений сцепления от смещений ненагруженного конца арматуры

## ЛИТЕРАТУРА

1. Али Абдель Захир Эль-Сайед Халил. Анкеровка продольной ненапрягаемой арматуры серповидного профиля на свободных опорах балок: Дис... канд. техн. наук: 05.23.01. – Москва. 1992 г. – 175 с.
2. Оатул А. А. Основы теории сцепления арматуры с бетоном // . Сборник трудов №46. «Исследования по бетону и железобетону». - Челябинск, 1967. - С. 6-26.
3. Рекомендации РИЛЕМ/ЕКБ/ФИП РС 6. Испытание на сцепление арматурной стали. Часть 2. Испытания на вытягивание.
4. Стандарт Американский ASTM A-706.
5. Стандарт Британский BS 4449: 1988. Прутки из углеродистой стали для армирования бетона. Технические требования.
6. Холмянский М. М. Контакт арматуры с бетоном. – Москва: Стройиздат, 1981. - 184 с.
7. Rehm G. Uber die Grundlagen des Verbundes zwischen stahl und beton. –Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton. H138. 1961.- 169 p.

УДК 691.328-462.001.24

Шепелевич Н.И.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ ТРУБАХ**

Железобетонные предварительно-напряженные трубы применяются для строительства напорных трубопроводов, к которым предъявляются требования 1 категории по трещиностойкости. Методика расчета и проектирования железобетонных предварительно-напряженных труб разработана только для напорного режима эксплуатации [1]. Однако, в ряде случаев, экономически оправдано применение труб данного типа для строительства безнапорных трубопроводов, к которым, в общем случае, предъявляются требования III категории по трещиностойкости [2].

Применение методики [1] для расчета и проектирования безнапорных труб не оправдано, так как приводит к повышенной металлоемкости изделий. Очевидно, что в условиях безнапорного режима эксплуатации трещиностойкость предварительно-напряженных труб можно снизить, как минимум, до II категории, т.е. допустить образование трещин и их раскрытие.

#### **1. Напряженно-деформированное состояние труб**

В применяемых в настоящее время методиках расчета безнапорных труб, внешняя нагрузка представляется в виде вертикального  $p_v$  и горизонтального  $p_n$  давлений, вызывающих деформации изгиба стенки трубы. При этом, максимальные изгибающие моменты возникают в продольных сечениях стенки трубы, расположенных на уровне вертикального ( $M_1$  и  $M_3$ ) и горизонтального  $M_2$  диаметров, значения которых определяются по формулам

$$M_{1,2,3} = \delta \cdot p_v \cdot r_m^2 \cdot b; \quad (1)$$

где:  $\delta$  – коэффициент, учитывающий положение сечения и условия опирания трубы;

$r_m$  и  $b$  – соответственно, средний радиус трубы и расчетная ширина сечения.

Значения коэффициента  $\delta$  определяются расчетным путем и как показано в [2] они существенно зависят от условий укладки труб и бокового давления  $p_n$ . Расчетная