

УДК 624.012.46; 624.0

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОНА В ЗОНЕ ВНУТРЕННЕГО АНКЕРА НЕПРЕРЫВНО АРМИРОВАННОГО НИЖНЕГО ПОЯСА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ РАМЫ ПРИ ОТПУСКЕ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ЛИРА 9.4»

**Филиппов В.А.**

*ФБГУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», Тольятти,  
e-mail: filvaah@yandex.ru*

Исследования проводились на образце нижнего пояса предварительно напряженной непрерывно армированной рамы из которых собирается пространственное стержневое покрытие в виде перекрестных ферм. В процессе изготовления образцов при отпуске усилия предварительного натяжения в зоне опирания внутренних анкеров в бетоне появились трещины. Экспериментально установлено влияние величины усилия предварительного обжатия, размеров площадки опирания внутреннего анкера на напряженно деформированное состояние бетона при отпуске усилия предварительного обжатия и соответственно на косвенное армирование этих зон. Для возможности применения аналитических методов исследований при проектировании подобных конструкций был проведен расчет в программном комплексе «ЛИРА 9.4». Усилие предварительного натяжения арматуры задавалось отрицательными температурными деформациями, соответствующими деформациям усилия предварительного натяжения арматуры. Напряженное состояние бетона в зоне внутренних анкеров при аналитических исследованиях совпадало с напряженным состоянием бетона полученном при экспериментальных исследованиях.

**Ключевые слова:** предварительное напряжение, внутренний анкер, температурные деформации, напряженно-деформированное состояние

## DETERMINATION OF THE STRESS AND STRAIN STATE OF CONCRETE USING THE SOFTWARE PACKAGE «LIRA 9.4» IN THE ZONE OF THE INTERNAL ANCHOR OF THE BOTTOM CHORD OF THE PRESTRESSED CONTINUOUS REINFORCEMENT FRAME UNDER THE PRESTRESSING FORCE

**Philippov V.A.**

*Togliatti State University, Togliatti, e-mail: filvaah@yandex.ru*

The investigation was done on a prototype of the bottom chord of prestressed continuous reinforced frame. The dimensional rod cover consists of these frames which are mounted in the form of the cross sectional trusses. During prototype making under the prestressing force the cracks in concrete were formed in the zone of bearing internal anchors. The effect of the prestressing force and dimensions of the area of bearing internal anchor on the stress and strain state of concrete under the prestressing force was determined experimentally. Also the lateral reinforcement of the zone of the internal anchor was determined. The structural analysis of such frame structures was performed in the software package «Lira 9.4». It was necessary to determine the suitability of analytical research methods. The prestressing force was set as negative temperature deformations which correspond to the deformations under the action of prestressing force. The stress strain state of concrete in the zone of the internal anchor in the analytical studies coincided with the stress strain state in the experimental studies.

**Keywords:** prestressing, internal anchor, temperature deformations, stress and strain state

Разработано сборное пространственное железобетонное стержневое покрытие в виде перекрестных ферм [1, 2, 3], собираемое из предварительно напряженных непрерывно армированных рам с восходящим раскосом с номинальными габаритными размерами 3×3 м и сечением верхнего, нижнего поясов и раскоса 120×120 мм и стоек 120×60 мм. Сжатые стыки рам в покрытии выполняются с помощью сварки закладных деталей, а растянутые с помощью высокопрочных болтов пропускаемых через наружные открьлки внутренних анкеров. Напряженно-деформированное состояние бетона в зоне внутреннего анкера при отпуске усилия предварительного натяжения

зависящее от величины предварительного обжатия и конструкции внутреннего анкера, влияет на трещиностойкость и долговечность конструкции рам и покрытия в целом.

**Цель исследования.** Провести аналитические исследования напряженно-деформированного состояния бетона в зоне внутренних анкеров нижнего пояса рам и сравнить полученные результаты с результатами экспериментальных исследований на опытных образцах.

Опытные образцы нижнего пояса, на которых проводились экспериментальные исследования, являются фрагментом рамы (рис. 1) и обозначены НП. На этих образцах определялась трещиностойкость и несущая способность нижнего пояса рам, несущая

способность и деформативность анкерной втулки и исследовалось напряженно-дефор-

мированное состояние зон бетона, прилегающих к внутреннему анкеру.

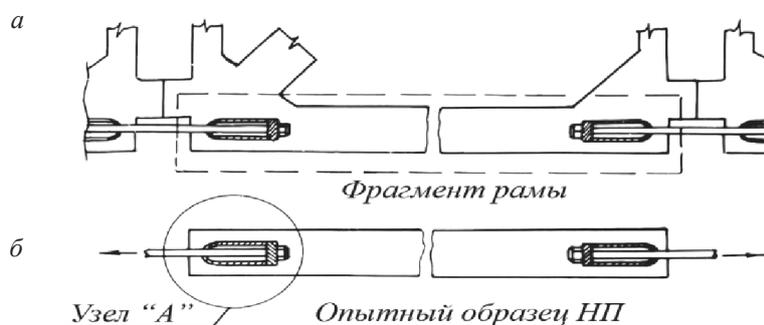


Рис. 1. Опытный образец нижнего пояса рамы:

а – фрагмент нижнего пояса покрытия; б – опытный образец НП нижнего пояса рамы

Всего было изготовлено пять образцов. Все образцы по трещиностойкости были запроектированы из условия сохранности арматуры на усилие 283 кН. Усилие разрыва пояса исходя из временного сопротивления арматуры равно 560,7 кН. Образцы выполнялись из бетона класса В50 на гранитном щебне фракции 5-15 мм. Рабочая напрягаемая арматура во всех образцах одинакова – 13 диаметров 6 мм К1500 с расчетным усилием натяжения на канат 24 кН, при  $\sigma_{sp} = 0,70R_{s,n}$ . Общее расчетное усилие натяжения без учета потерь составило 312 кН, а с учетом потерь – 252 кН при эксцентриситете усилия предварительного обжатия 0,22 см. Размеры поперечного сечения образцов приняты, как и в рамах, равным 120×120 мм.

Внутренние анкеры представляют собой плоскую втулку, длина которой была

назначена из размеров упоров стенда и равна 175 мм. Толщина стенок анкеров принята по расчету 8 мм. Ширина закругленной части анкера принята равной ширине пояса 120 мм, ширина по открылкам – 220 мм. Открылки, являющиеся деталями стыка рам по нижнему поясу, выступают из пояса на 50 мм в каждую сторону.

Появление трещин на боковых гранях образцов НП-I, НП-II, НП-III, НП-IV в момент отпуска натяжения арматуры можно объяснить возникновением растягивающих напряжений в теле бетона, вызванных расклинивающим действием внутреннего анкера. В образцах НП-V опорная зона бетона была армирована косвенной арматурой в виде сеток и трещины при отпуске натяжения арматуры не возникли.

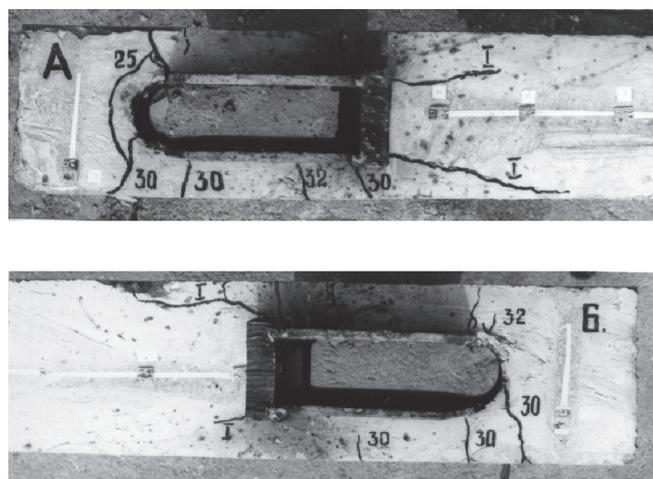


Рис. 2. Образец НП-IV после испытаний (арабскими цифрами обозначена нагрузка, т, образования трещин при испытании образца внешней нагрузкой на растяжение; трещина I образовалась при отпуске усилия натяжения)

Для исследования напряженно-деформированного состояния бетона в зоне внутреннего анкера были проведены аналитические исследования с применением программного комплекса «Лира 9.6»

В расчете принята модель пояса длиной 1,0 м, которая была разбита на 13398 объемных конечных элемента с размерами  $1 \times 1 \times 1$  см с 15907 узлами (рис. 3). Замкну-

тая непрерывная канатная арматура моделировалась плоской замкнутой лентой разной ширины с каждой стороны образца площадью равной соответствующей площади канатов – с одной стороны  $158,9 \text{ мм}^2$ , с другой –  $136,2 \text{ мм}^2$ . Анкерная втулка моделировалась пластинчатыми элементами. На рис. 4 выделена припорная зона внутреннего анкера.

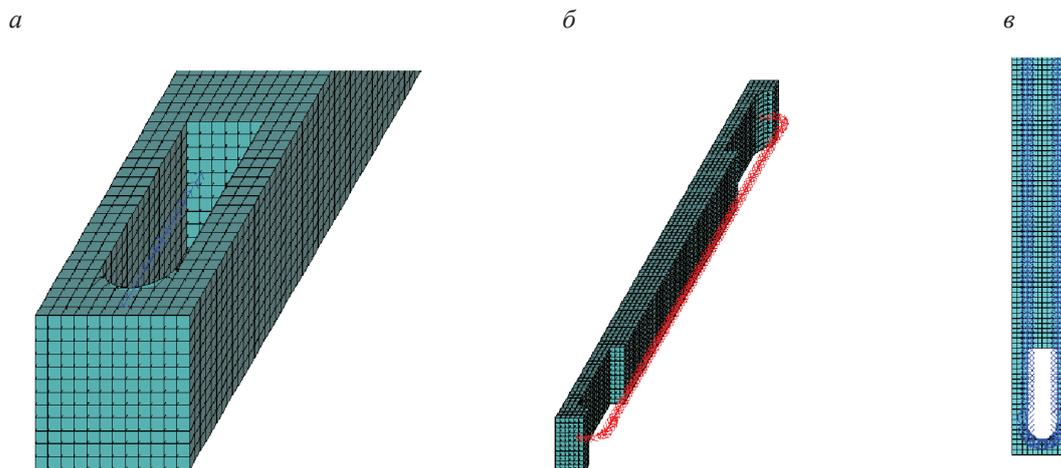


Рис. 3. Конечноэлементная модель нижнего пояса (а). Моделирование арматуры (б) и внутреннего анкера (в)

В расчетах рассматривались два варианта конструкции анкерной втулки. В первом варианте опорная пластина принималась тол-

щиной 4 мм, как и в опытных образцах. Во втором варианте толщина опорной пластины принималась равной 8 мм, как и вся втулка.

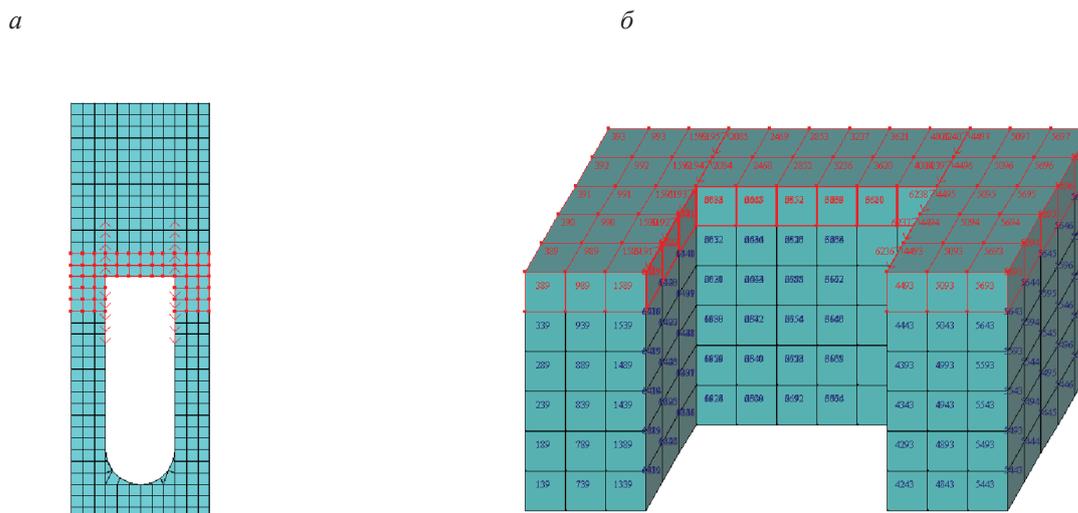


Рис. 4. Припорная зона бетона модели: а – красным выделен фрагмент прилегающего к анкеру бетона; б – выделенный фрагмент крупно в аксонометрии

Предварительное напряжение задавалось температурными деформациями равными деформациям при натяжении арматуры. Расчетная температура минус 438 °С. Коэффициент линейного расширения  $\alpha_t$  для канатов принят равным  $13,4 \times 10^{-6}$ . Учитывая, что обжатие образца происходило с эксцентриситетом равным 22,3 мм, то обжатие пояса в нормальных сечениях было неравномерным. Максимальная концентрация напряжений при отпуске натяжения арматуры отмечена под углами анкера (под стенками анкера). Опорная пластина первого образца толщиной 4 мм оказалась не достаточно жесткой (рис. 5).

Максимальное сжимающее напряжение в этом месте с наиболее напряженной стороны составило 34,45 МПа, а растягивающее – 3,4 МПа при фактической призмочной прочности бетона  $R_b = 43,0$  МПа и прочности на растяжение, вычисленной по формуле Фере  $R_{bt} = 2,85$  МПа. С наименее обжатой стороны эти напряжения составили: сжимающие – (конечный элемент 4796)  $R_b = 21,53$  МПа и растягивающие –  $R_{bt} = 2,95$  МПа. Растягивающие напряжения с обеих сторон превысили прочность бетона на растяжение, что и послужило причиной образования трещин.

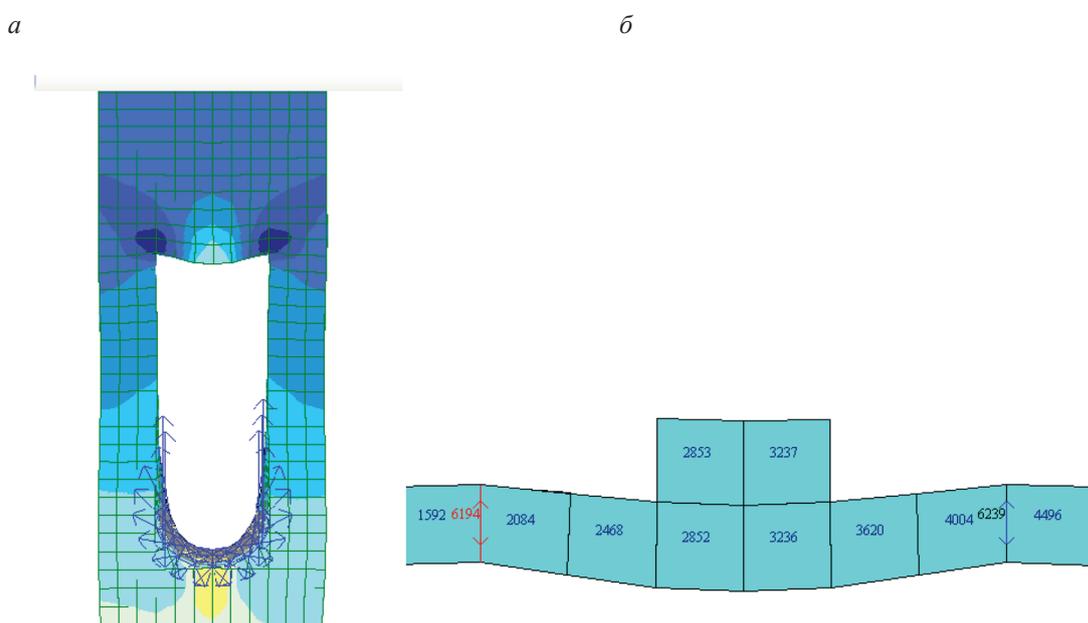


Рис. 5. Напряженно-деформированное состояние бетона за анкером на боковой грани модели с толщиной опорной пластины 4 мм:

а – поля напряжений в бетоне за анкером; б – конечные элементы бетона, примыкающие к внутреннему анкеру

Во втором образце с толщиной опорной пластины 8 мм напряжения в зоне внутреннего анкера распределились более равномерно. Максимальные сжимающие напряжения в конечном элементе 1592 составили 31,54 МПа, максимальные растягивающие напряжения в конечном элементе 1593 – 2,61 МПа. С другой стороны анкера, сжимающие напряжения в конечном элементе 4004 составили 21,26 МПа, а растягивающие в конечном элементе 4005 составили 2,24 МПа. Таким образом, увеличение

жесткости опорной пластины анкера оказало положительное влияние на напряженное состояние бетона в примыкающей к анкеру области. С обеих сторон анкера растягивающие напряжения в бетоне не превысили прочности бетона на растяжение.

На рис. 6 показано напряженное состояние верхней грани модели. На поверхности явно видны зоны концентрации напряжений в бетоне, вызванных ребрами внутреннего анкера из-за недостаточной жесткости опорной торцевой пластины.

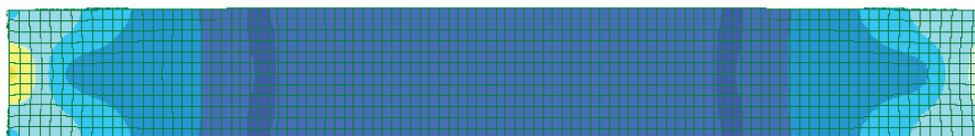


Рис. 6. Напряженно-деформированное состояние бетона по верхней грани модели

### Выводы

На основании результатов исследования, полученных при отпуске натяжения арматуры сделаны следующие выводы:

1. Результаты аналитических исследований напряженного состояния бетона в зоне внутреннего анкера с моделированием усилия предварительного натяжения арматуры температурными деформациями в вычислительном комплексе «ЛИРА 9.4» подтверждаются результатами эксперимента на опытных образцах;

2. В зоне опирания внутренних анкеров на бетон возникает большая концентрация продольных и поперечных деформаций, которые зависят от толщины опорной пластины анкера. При толщине опорной пластины 4 мм значения максимальных напряжений растяжения бетона превышают его прочность на растяжение и возникают трещины. При толщине опорной пластины 8 мм растягивающие напряжения ниже предельных значений.

3. Рассмотренная методика определения напряженно-деформированного состояния бетона в зоне внутреннего анкера и параметров самого анкера может быть использована при проектировании предварительно

напряженных непрерывно армированных конструкций с внутренними анкерами.

3. В рамках пространственного покрытия внутренние анкера находятся в уширениях поясов и раскосов (в вутах), и бетон в зоне опирания анкера должен армироваться окаймляющей арматурой вутов и для удобства ее размещения величину вута с наружной стороны рамы желательно увеличить на 10-15 мм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов, В.А. Пространственное стержневое покрытие блочного типа из предварительно напряженных рамных элементов / Г.И. Бердичевский, Л.В. Руф, В.А. Филиппов // сб.: Расчет и конструирование железобетонных конструкций. – Труды НИИЖБ, 1977. – вып. 39. – С.106 – 115.

2. А.с. 649803 СССР, МКл Е 04 В 7/14. Железобетонное покрытие. [Текст] / Г.И.Бердичевский, Н.Я. Сапожников, Л.В. Руф, Г.А. Гамбаров, А.К. Караковский, В.А. Филиппов, (СССР). – №2488021 / 29-33; заявл. 20.05.77; опубл. 28.02.79, Бюл. №8. – 4 с.: ил.

3. Филиппов, В.А. Садыков А.П. Прочность, трещиностойкость и деформативность узлов и стыков пространственного стержневого железобетонного покрытия блочного типа из предварительно напряженных рамных элементов : монография [Текст] / В.А. Филиппов, А.П. Садыков. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2011. – 235 с. : обл.

4. Филиппов, В.А. Исследование работы стыков и узлов пространственного стержневого покрытия из предварительно напряженных рамных элементов / В.А. Филиппов // Вестник ВСГУ. №3. – Улан-Удэ: ВСГУ, 2010. – С. 67 – 74.