УДК 624.012.46; 624.04

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОПОРНЫХ РАМ И УЗЛОВ СБОРНОГО ПРОСТРАСТВЕННОГО СТЕРЖНЕВОГО ПОКРЫТИЯ С КОНСОЛЬНЫМИ СВЕСАМИ ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ НЕПРЕРЫВНО АРМИРОВАННЫХ РАМ

Филиппов В.А.

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

Приведены результаты испытания фрагмента опорной фермы сборного стержневого пространственного покрытия из предварительно напряженных рамных элементов с консольными свесами. Опытный фрагмент опорной фермы нагружался поэтапно гидравлическими домкратами до разрушения. Разрушение произошло по опорному узлу консольного свеса. В процессе испытания регистрировались деформации бетона узлов и процесс образования трещин. Установлена схема раз рушения узла. На основании схемы разрушения узла предлагается расчетная схема опорного узла и методика его расчета.

Ключевые слова: пространственное покрытие, предварительно напряженные рамы, опорные узлы, схема испытания, образование трещин, схема разрушения; расчетная схема; схеме армирования

THE STUDY OF THE SUPPORTING FRAMES AND COMPONENTS OF THE JOINED SPATIAL CORE COVERAGE WITH THE CONSOLE OVERHANGS MADE OF PRESTRESSED CONTINUOUSLY REINFORCED FRAMES

Philippov V.A.

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

In the article the results of the test of a fragment of the supporting form of the joined core spatial coverage made of prestressed frame elements with the console overhangings are given. The experimental fragment of the supporting frame was loaded by hydraulic jacks step-wise to destruction. The destruction took place on the basic joint of the console overhang. During the test the deformation of concrete units and the process of formation of cracks were registered. The scheme of the joint destruction was established. On the basis of the scheme of the joint destruction the basic joint calculated scheme is proposed, as well as the method of its calculation.

Keywords: spatial coverage, presstresed frames, basic joints, test scheme, formation of cracks, destruction scheme, calculated scheme, scheme of reinforcement

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 открылки внутренних анкеров, натягиваемых с усилием, обеспечивающим нераскрытие стыка под нагрузкой.

Цель работы. На основании результатов экспериментальных исследований разработать методику расчета опорных узлов пространственного стержневого покрытия с консольным опиранием на колонны.

Исследование работы опорных рам покрытия с консольными свесами, и его опорных узлов проводилось на плоском фрагменте «А», представляющем собой часть опорной фермы (рис. 1).

Рис. 1. Фрагмент опорной фермы в консольном блоке покрытия

Опытный плоский фрагмент был собран из четырех рам натурной величины [3]: двух пролетных рам Р-1 и двух опорных переходных рам РП-3 (рис. 2 и 3). Опорная рама РП-3 имеет опорный узел и названа переходной потому, что в верхнем и нижнем её поясах возникают растягивающие усилия и верхний и нижний пояса армированы непрерывной предварительно напрягаемой арматурой в количестве 9 и 10 канатов класса К1500 диаметром 6 мм. Рама образующая консоль, это рама Р-1 перевернутая предварительно напряженным нижним поясом вверх. Болтовой растянутый стык рамы Р-1 с соседней рамой РП-3 расположен вверху, а нижний сжатый стык этих рам выполнен с помощью сварки закладных деталей. Стыки рам, расположенных в пролете, выполнены, как и в покрытии с опиранием по углам – нижние с помощью стыковочных болтов, верхние с помощью сварки закладных деталей.

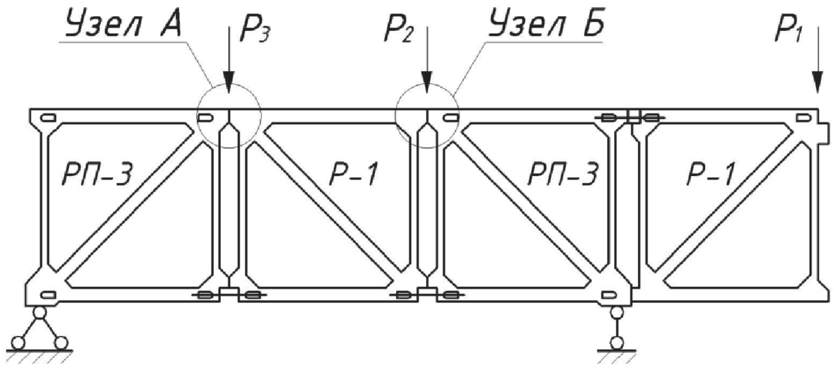

Рис. 2. Схема плоского консольного фрагмента (консольная рама справа)

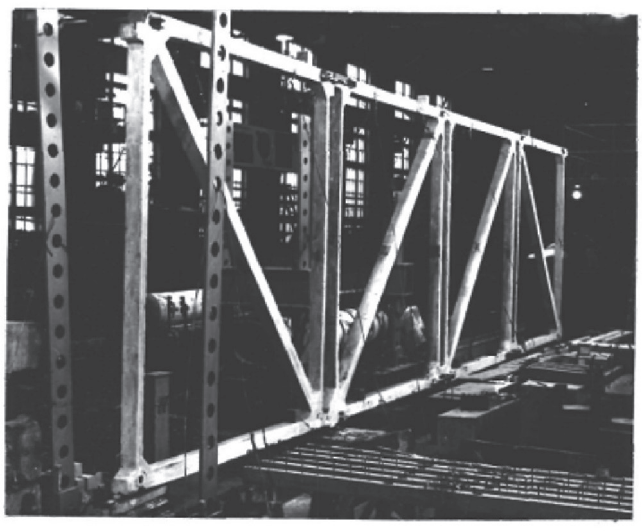

Рис. 3. Общий вид плоского фрагмента в процессе монтажа

Нагружение фрагмента производилось двумя домкратами – в пролете домкратом ДГ-50, нагрузка от которого передавалась через траверсу на два промежуточных узла «А» и «Б». Для обеспечения требуемого соотношения узловых нагрузок на фрагмент ось домкрата смещена относительно центра траверсы к левой опоре так, чтобы соотношение плеч составило 3 к 4: левое плечо $(3/7)l$, а правое – $(4/7)l$. Таким образом, усилие в узле «А» составляло (4/7) от усилия в домкрате, а в узле «Б» – (3/7). Консоль загружалась домкратом ДГ-10.

Приращение нагрузки на первых четырех этапах, когда все элементы фрагмента работали упруго, составляло около 12 % от разрушающей нагрузки. Начиная с пятого этапа приращение нагрузки, составляло около 6 % от разрушающей нагрузки.

На шестом этапе нагружения, при нагрузках в узлах P_1 = 35,70 кН, P_2= 53,50 кН и P_3 = 71,50 кН, в консольном опорном узле рамы РП-3 появились первая трещина в месте сопряжения раскоса и вута, и развивалась до верхней стенки анкерной втулки и далее к опорной пластине. Вторая трещина от опорной пластины к закругленной грани анкерной втулки и далее к основанию стойки (рис. 4).

В другом опорном узле также образовались трещины аналогично трещине «А» в узле консольного стыка, вторая от опоры вдоль оси опорной реакции, а также трещины, направленные от грани анкерной втулки к нижней грани нижнего пояса.

При дальнейшем загружении фрагмента в опорных узлах происходило развитие старых и образование новых трещин.

Разрушение консольного опорного узла произошло на 13 этапе нагружения при нагрузке равной: P_1 = 60,78 кН; P_2 = 88,5 кН; P_3 = 118,0 кН от совместного действия усилий в раскосе и нижнем поясе опорной рамы РП-3, и усилия в раскосе консольной рамы, передающегося на опорный узел через сварной шов закладных деталей стыкуемых рам. Общий вид опорного узла после разрушения показан на рис. 4.

а *б*

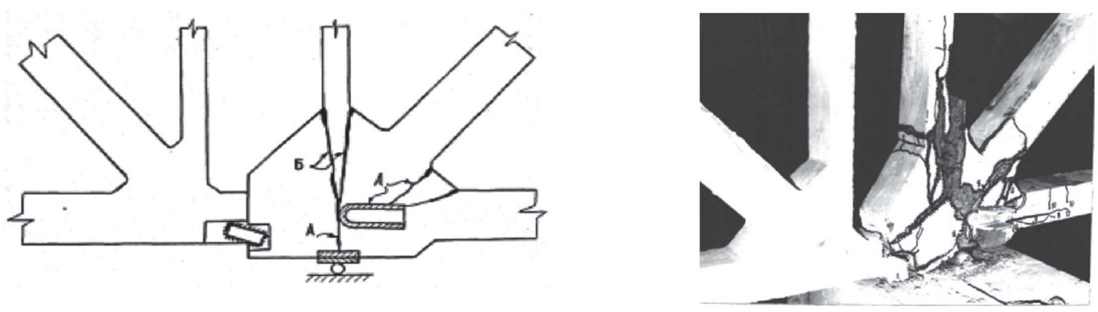

Рис. 4. Схема и вид разрушения консольного опорного узла:
а – плоскость среза; б – плоскость разрушения от изгибающего момента

Анализ работы узла в стадии, близкой к предельному состоянию показывает, что разрушение узла произошло от совместного действия изгибающего момента, вызванного усилиями в раскосе консольной рамы и сдвига от усилия в раскосе опорной рамы РП-3 (рис. 5а). Причем влияние изгибающего момента было преобладающим. Для упрощения расчета узла предлагается рассматривать две независимые схемы разрушения – от действия сдвигающих усилий и от действия изгибающего момента. Расчет прочности узла на срез от сдвигающего усилия приведен в работе [4, 5].

Расчет опорного узла на изгиб по сечению АВ. Действие консольной рамы на опорный узел заменим вертикальной силой N_v и горизонтальной силой N_h передающимися на опорный узел через центр сварного шва соединяющего закладные детали стыкуемых рам (рис. 5б).

$$N_v = N_{ст} + N_h \cdot \sin\alpha;$$

$$N_h = N_{н.п.} + N_p \cdot \cos\alpha; \qquad (1)$$

Изгибающий момент М относительно центра закладных деталей стыка соединяющих рамы

$$M = N_v c. \qquad (2)$$

На рис. 6 представлена расчетная схема узла. Расчетное сечение нагружено изгибающим моментом М и нормальной к сечению силой *N* приложенной по оси пояса и находится в условиях внецентренного сжатия.

а

б

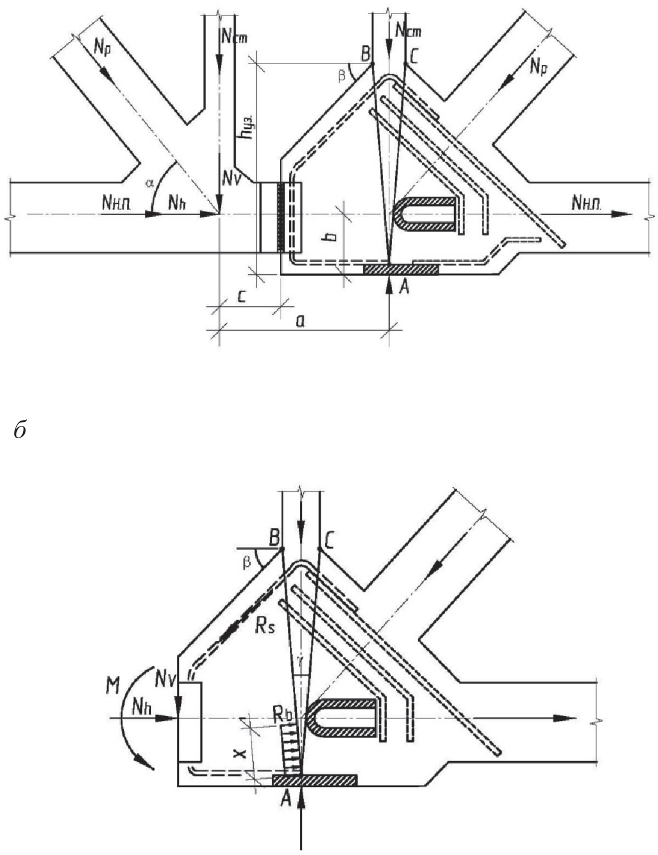

Рис. 5. Схема усилий в опорном узле рамы РП-3 и в прилегающих стержнях консольной рамы (а); схема расчетных усилий в опорном узле (б)

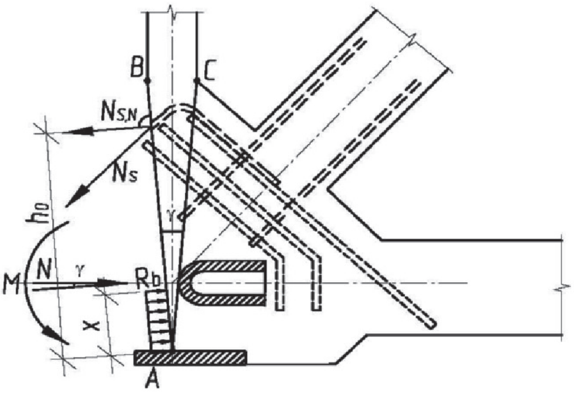

Рис. 6. Расчетная схема опорного узла при расчете на изгиб

Общий изгибающий момент, действующий в расчетном сечении равен

$$M = N_v \cdot a. \quad (3)$$

Величина нормальной к расчетному сечению продольной силы определяется по формуле

$$N = N_h \cdot \cos\gamma. \quad (4)$$

Растягивающее усилие в растянутой ветви окаймляющей арматуры S равно

$$N_s = R_s A_s \frac{l_x}{l_{an}}. \quad (5)$$

Нормальная составляющая усилия N_s к расчетному сечению равна

$$N_{s,N} = R_s A_s \frac{l_x}{l_{an}} \cos(\beta - \gamma). \quad (6)$$

Угол наклона грани узла к горизонтали β равен 45°, а угол наклона расчетного сечения к вертикали γ определяется из условия

$$\mathrm{tg}\,\gamma = \frac{h_{ст}}{2h_{узл}}, \quad (7)$$

где $h_{ст}$ – высота сечения стойки, равная 60 мм.

Вертикальное усилие N_v для опорного узла является перерезывающей силой. Используя принцип армирования коротких консолей, анкерующие стержни стыковой закладной детали должны располагаться параллельно верхней грани узла, с обеспечением надежной их анкеровки (рис. 7).

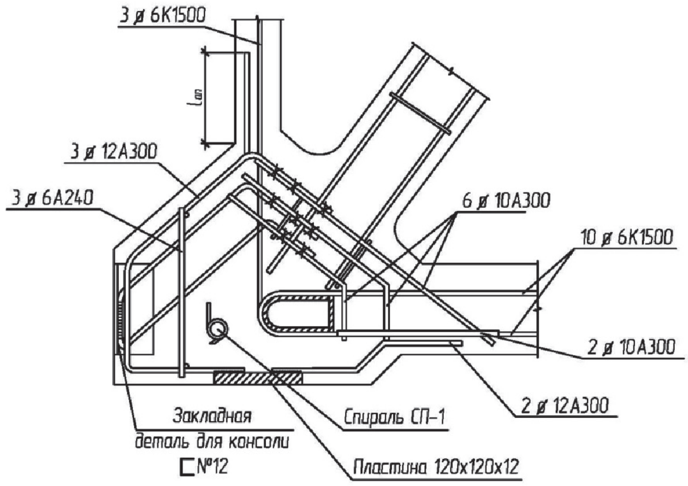

Рис. 7. Предлагаемая схема армирования опорного узла

Условие равновесия для расчетного сечения АВ

$$N_{s,N} - N_b - N = 0, \quad (8)$$

где $N_b = R_b bx$.

Условие прочности сечения

$$M \le R_b bx(h_0 - 0,5x) + N_{s,N}(h_0 - b);$$

$$M \le \alpha_m R_b b h_0^2 + N_{s,N}(h_0 - b), \quad (9)$$

где $h_0 = (h_{узла} - \alpha)/\cos\gamma$.

Усилие в наклонной арматуре $N_{s,N}$ должно определяться с учетом фактической ее анкеровки.

Расчетное усилие образования трещин в сечении АВ составило 4782 кг, что составляет 85,2 % от опытного.

Выводы

1. Разрушение фрагмента произошло по опорному узлу «переходной» рамы РП-3. Несущая способность этого опорного узла оказалась несколько ниже несущей способности остальных узлов и элементов опорной рамы из-за недостаточного содержания поперечной арматуры в узле и недостаточной ее анкеровки.

2. Для повышения несущей способности и трещиностойкости опорных узлов покры-

тия с консольными свесами необходимо выполнять их расчет и армирование руководствуясь разработанной методикой и рис. 7.

3. Закладная деталь в нижнем поясе рамы РП-3 для сопряжения с консольной рамой должна располагаться по оси нижнего пояса и ее анкеровка должна выполняться в соответствии с рисунком 7. При этом длина вертикальных угловых швов стыка с консольной рамой должна обеспечивать восприятие полной перерезывающей силы в стыке. Анкеровку закладных деталей обеих рам необходимо рассчитывать на такое же усилие.

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: сб. «Вестник ВСГТУ» №3. – Улан-Удэ: ВСГТУ, 2010. – С. 67 – 74.

5. Филиппов, В.А. Экспериментально-теоретические исследования опорных узлов блочного стержневого покрытия / А.П. Садыков, В.А. Филиппов // В сб. Особенности проектирования сейсмостойких систем. Фрунзе: ФПИ, 1989. С. 18 – 27.