

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВАНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ СТРОЯЩЕГОСЯ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА

Михайлов А.А., Дзюба С.В., Шипилов Ю.И. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приводятся результаты натурных испытаний конструкций вантового покрытия торгового комплекса, возводимого на площади им. Б. Деревянко в городе Одессе.

Расчет и проектирование висячих и вантовых конструкций покрытий зданий сопряжен с рядом специфических трудностей, относящихся, главным образом, к значительной нелинейности их работы, повышенной значимости создания усилий предварительного нагружения в отдельных элементах, к специфическим условиям работы пилонов и использованию материалов повышенной прочности [1]. Кроме этого, жесткость подобных конструкций, в силу использования растянутых элементов, обладающих незначительными размерами поперечных сечений при часто пониженных модулях упругости, оказывается значительно ниже жесткости других видов конструкций покрытий.

Традиционно при рассмотрении комбинированных вантовых систем учет вопроса нелинейности их работы пренебрегают, сводя статический расчет к упрощенной схеме, описываемой системой уравнений метода сил, принимающей за неизвестные усилия в вантах [2]

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}x_1 + \dots + \delta_{1i}x_i + \Delta_{1P} &= 0 \\ &\dots \\ \delta_{i1}x_1 + \dots + \delta_{ii}x_i + \Delta_{iP} &= 0 \end{aligned} \right\},$$

где: δ_{ii} , δ_{ij} — коэффициенты канонических уравнений, определяемые по формулам

$$\delta_{ii} = \int_L \frac{M_i^2 dx}{E_0 I_0} + \sum_i \frac{S_i^2 s_i}{EA_i}, \quad \delta_{ij} = \int_L \frac{M_i M_j dx}{E_0 I_0} + \sum_i \frac{S_i^2 s_i}{EA_i};$$

M_i , M_j — изгибающие моменты в балке жесткости, соответствующие точкам подвески вант, передающих усилия x_i , x_j ; $E_0 I_0$ — изгибная жесткость поддерживаемой балки; S_i — усилие в i -той

ванте; s_i — длина i -той ванты; EI_A — продольная жесткость i -той ванты; Δ_{iP} — грузовые члены уравнений, определяемые как изменения расстояний между концами разрезных вант под действием заданной нагрузки

$$\Delta_{iP} = 2y_i \sin \beta_i ;$$

y_i — вертикальные перемещения (прогибы) балки жесткости в точке подвески i -той ванты; β_i — угол наклона i -той ванты.

Однако, как показывают экспериментальные исследования существующих вантовых покрытий, встречающаяся на практике нелинейность их работы, связанная с конструктивными особенностями решений пилонов и узловых соединений стержней вант (не всегда верно учитываемых при составлении расчетных схем), потерей или изначальной недостаточностью усилий предварительных напряжений, приводит к существенным отклонениям от расчетных параметров напряжено деформируемого состояния данных систем.

Примером вышесказанному могут служить результаты экспериментального исследования вантового покрытия, проведенные сотрудниками Лаборатории обследования зданий и сооружений Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Ими были проведены испытания покрытия здания торгового центра, выполненного с использованием вантово-радиальных систем, поддерживающих ригельные балки. Исследуемое покрытие было запроектировано и возведено в городе Одессе на площади им. Б.Деревянко обществом с ограниченной ответственностью «Главстрой». Целью проведенных испытаний явилось определение несущей способности и уточнение деформативных характеристик вантовой системы при различных уровнях нагрузок, а также фактического соответствия натяжения отдельных вант проектному решению.

Суммарная ширина обследуемого покрытия, включавшая три пролета по 11,3 , 33,9 и 14,06 метров, составляла 59,26 м (что соответствовало рекомендациям, приведенным в [3], определяющим рациональность выбора пролетов в пределах соотношений от 1:2:1 до 1:3:1), см. рис. 1. Опорами покрытия служили стойки многоуровневых поперечных рам, расположенных по длине здания с шагом 6,25 м. При этом те из них, что находились по сторонам среднего пролета, являясь неразрезными по высоте, совмещали функции вертикальных опор ригельных балок и пилонов вантовых систем.

Вантовые подвески делят ригельные балки на две равные панели в пределах крайних пролетов, и на пять равных панелей по длине среднего пролета. Кроме этого были предусмотрены ванты-оттяжки, связывающие стойки-пилоны со стойками крайних рядов.

Ригельные балки от центра среднего пролета, предусматривающего их стыковку, имели строительные уклоны к сторонам здания с величиной $i=5\%$. Сечение ригельных балок было принято из прокатных двутавров №30.

Стойки-пилоны выполнялись составными со сквозным сечением, включающим два прокатных швеллера №20, развернутых полками наружу и отстоящих друг от друга на расстоянии 180 мм. Элементы их сечения связывались металлическими планками, расположенными по сторонам с шагом 800 мм. Ригельные балки пропускались между ветвями стоек-пилонов, опираясь на специальные столики. Превышение оголовков пилонов относительно крайних колонн составляло 4,7 м (что также соответствовало рекомендациям [3], определяющим рациональную высоту пилона в пределах $1/5...1/7$ пролета). По сторонам стоек-пилонов было предусмотрено по две ванты. Каждая ванта включала в свой состав два стержня, изготовленных из арматуры класса А400С (АIII) и связанных между собой через каждые 1000 мм вставками из металлических листов — $50 \times 16-80$ мм, приваренных угловыми швами с катетами 6 мм. Сечение использованных арматурных стержней в ближайших к стойкам-пилонам вантах было назначено диаметром 28 мм, в более удаленных от них вантах — 32 мм.

В соответствии с проектом элементы вант крепились к специальным оголовкам стоек-пилонов сварными швами с катетами 12 мм, а к ригельным балкам и стойкам крайних рядов при помощи натяжных гаек, фиксируемых контргайками (рис. 2).

При проведении испытаний участок покрытия загружался сосредоточенной нагрузкой, прикладываемой по прогонам в местах крепления вант на половине среднего пролета системы, расположенной со стороны большего бокового пролета. В качестве нагрузки использовались железобетонные многопустотные плиты массой 2150 кг каждая. Определялись усилия в вантах и прогибы по середине среднего пролета.

Полученные результаты испытаний свидетельствуют о нелинейности работы вантовой системы, связанной с ее конструктивными особенностями. Принятое использование в качестве пилонов неразрезных и достаточно жестких стоек, вступающих в

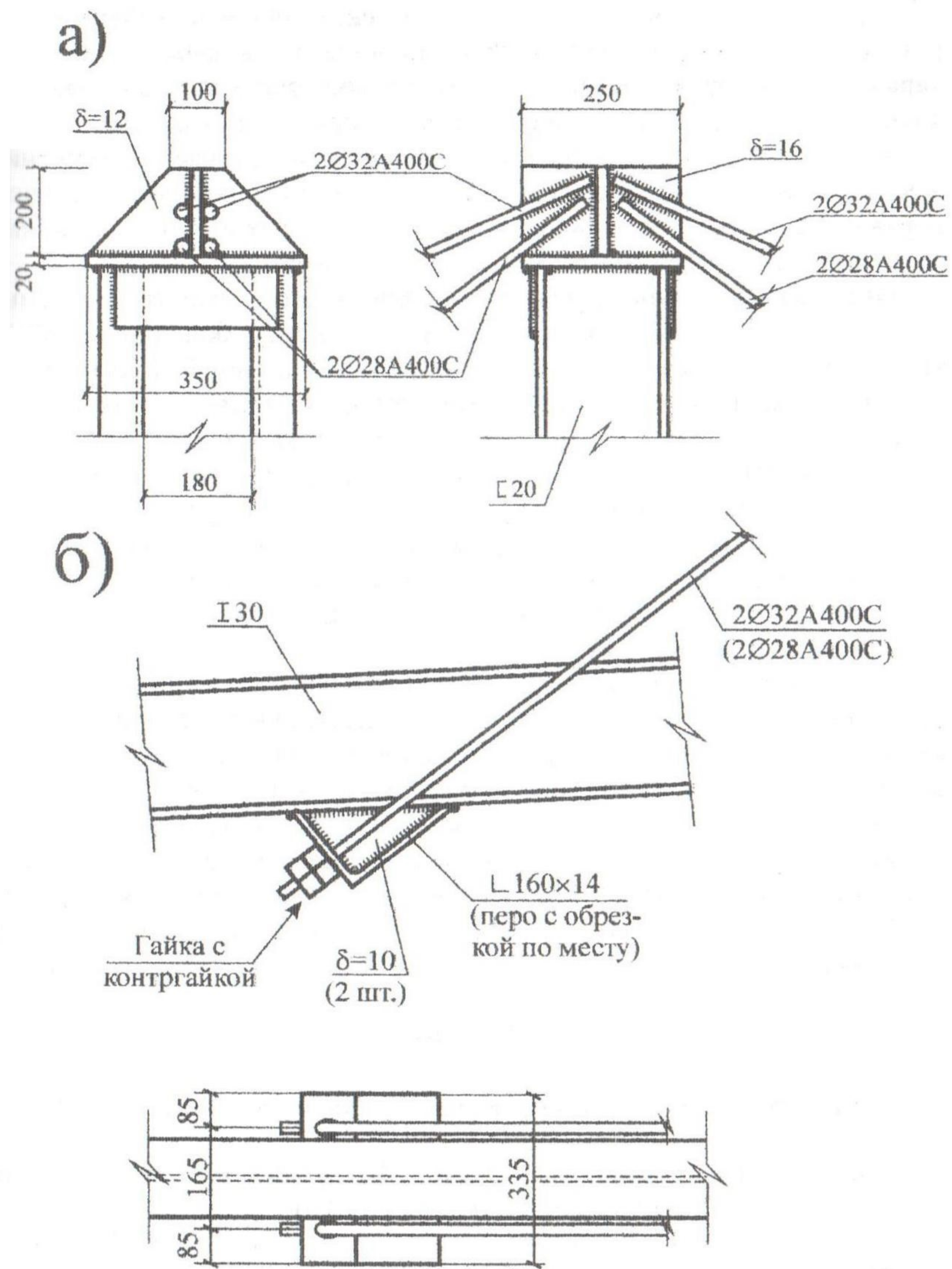


Рис. 2. Узлы крепления вант покрытия торгового комплекса, расположенного на площади им. Б. Деревянко: а – узел крепления вант к пилонам, б – узел крепления вант в пролете балок покрытия.

работу на изгиб на первых этапах загрузок, привело к частичному разгрузке оттяжек, связывающих пилоны с боковыми колоннами каркаса (см. график 2 на рис. 3), что должно было повысить общую жесткость системы в среднем пролете при нагрузках, меньших расчетных. Однако, в данном конкретном случае повышение жесткости не наблюдалось (рис. 4), вследствие наличия значительной неравномерности вступления вант в работу по причине некачественного предварительного их натяжения.

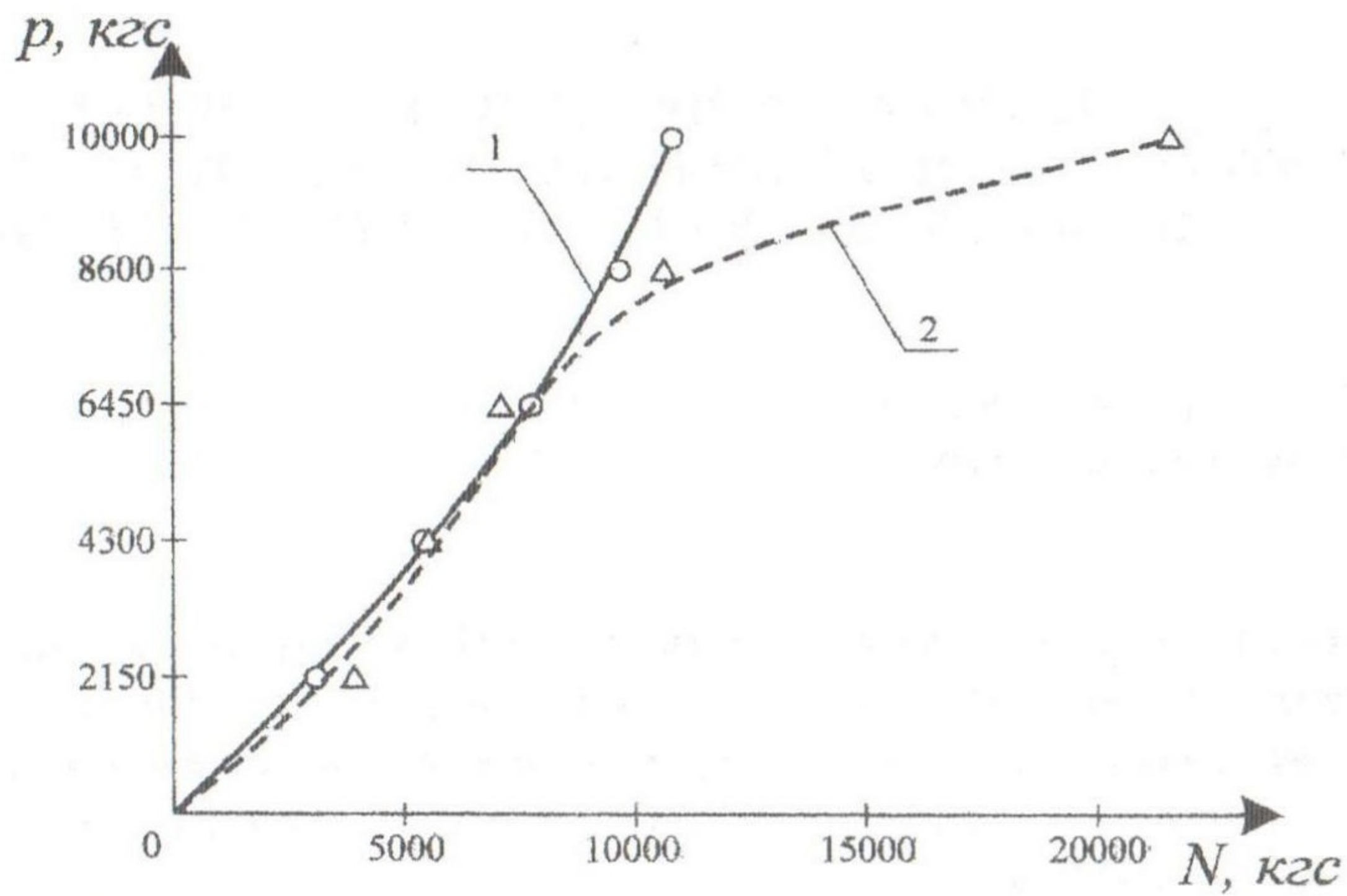
Наблюдаемая «конструктивная» нелинейность работы системы, связанная с фактическим вступлением в работу боковых оттяжек только на этапе развития пластических деформаций у основания пилон (появления условного шарнира), привела к тому, что рассмотренные выше формулы стали справедливы только на последнем этапе загрузки конструкций. В данном случае только на последней ступени загрузок, моделирующей нагрузки близкие к расчетным, имеют место усилия, соответствующие результатам расчета по методу конечных элементов в предположении шарнира у основания пилонов. Таким образом прослеживается стадийность работы вантовой системы.

Результаты, полученные по окончании испытаний, потребовали проведения дополнительных работ по исправлению, созданного при монтаже конструкций предварительного напряжения вант. Кроме того, следует отметить, что в силу принятых конструктивных решений, дальнейшая эксплуатация рассмотренного покрытия требует организации научного сопровождения, связанного с контролем натяжения вант и некоторой неясностью проявления хрупких свойств незащищенных сварных соединений, крепящих ванты, выполненные из арматурной стали класса А400С.

Литература

1. Кириенко В.И. Вантовые мосты. — Киев: Будівельник, 1967. — 144с.
2. Качурин В.К., Брагин А.В., Ерунов Б.Г. Проектирование висячих и вантовых мостов. — М.: Транспорт, 1971. — 280с.
3. Металлические конструкции. Специальный курс. Под ред. Беленя Е.И. — М.: Стройиздат, 1991. — 685с.

Рис.



3. Взаимозависимость приложенной нагрузки и усилий в вантах: p — прикладываемая нагрузка, N — усилия в вантах, 1 — развитие усилий в ближайшей к пилону ванте, расположенной над загружаемым полупролетом, 2 — развитие усилий в боковой оттяжке, прилежащей к загружаемому полупролету.

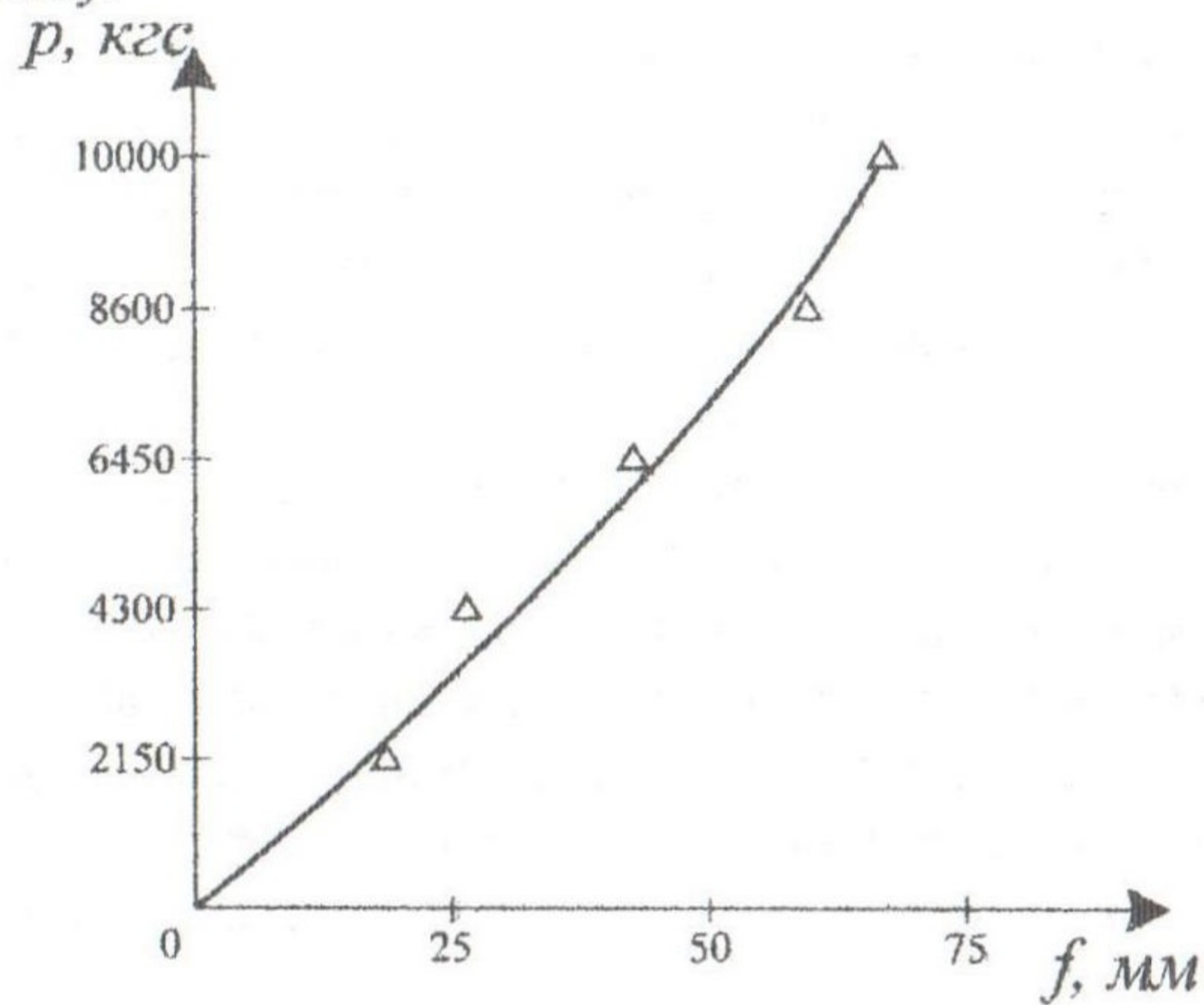


Рис. 4. Развитие прогибов в центре среднего пролета: p — прикладываемая нагрузка, f — прогибы.