

Инженер Г. И. АКАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ
ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФЕРМ
ПОКРЫТИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1965

НТБ
ДНУЖТ

2256/A

Публичная защита диссертации состоится на заседании Ученого совета по строительно-эксплуатационным специальностям *6 февраля* 1965 г.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого совета или прислать свои отзывы о работе по адресу: г. Днепропетровск, 10, Университетская, 2, Институт инженеров железнодорожного транспорта.

Дата отправки реферата *12 января* 1965 г.

НТБ
ДНУЖТ

Инженер Г. И. АКАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ
ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФЕРМ
ПОКРЫТИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель — канди-
дат технических наук, доцент
Н. И. ВОРОНЦОВ.

Днепропетровск
1965

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в 1959—1964 гг. в Днепропетровском инженерно-строительном институте. Экспериментальное исследование действительной работы ферм было проведено путем их натурных испытаний на заводах железобетонных конструкций Приднепровья. Опорные узлы ферм исследовались в лаборатории железобетонных конструкций Днепропетровского инженерно-строительного института.

НТБ
ДНУЖТ

Предисловие

Опыт применения предварительно напряженных железобетонных ферм в покрытиях промышленных зданий насчитывает немногим больше десяти лет. Освоение производства и внедрение их в строительство поставили перед работниками строительной индустрии, проектировщиками и научными работниками ряд задач: исследование их действительной работы, уточнение расчетных предпосылок, анкеровка арматуры, выбор конструкции и технологии изготовления ферм и др.

Начиная с 1959 года, в период освоения производства предварительно напряженных ферм в Приднепровье, в решении указанных вопросов совместно с инженерно-техническими работниками Главприднестростроя, Приднестровского Промстройпроекта, Днепродзержинского филиала Госхимпроекта и трестов «Днепростройдеталь», «Днепрохимстрой», «Дзержинскстрой», № 17 принимал участие автор настоящей работы.

Автором проведены натурные экспериментальные исследования действительной работы арочных предварительно напряженных железобетонных ферм покрытий со стержневой арматурой, натягиваемой на упоры.

Совместно с научными работниками научно-исследовательского института строительных конструкций Госстроя СССР автор исследовал действительную работу сборно-монолитных покрытий по арочным предварительно напряженным фермам, широко применяемым на строительстве объектов химической промышленности в Приднестровье.

Реферируемая работа явилась следствием длительных исследований, выполненных в содружестве с производством и посвящена трем основным вопросам:

1. Исследование напряженно-деформированного состоя-

ния предварительно напряженных арочных железобетонных ферм со стержневой арматурой с целью уточнения методики их расчета с учетом жесткости узлов.

2. Выявление особенностей работы комплексного сечения в сборно-монолитных покрытиях и исследование степени включения бетона омоноличивания и плит покрытия в совместную работу с верхним поясом ферм.

3. Исследование работы опорных узлов ферм и анкеровки стержневой предварительно напряженной арматуры на опорах.

Диссертация, состоящая из предисловия, шести глав, заключения и приложения, представлена в объеме 176 страниц машинописного текста, 113 рисунков и 34 таблиц, а так же списка литературы из 197 наименований.

Глава I

Применение сборных железобетонных ферм для покрытий промышленных зданий

Восстановление народного хозяйства нашей страны после Великой Отечественной войны потребовало быстрого решения вопросов индустриализации строительства, экономии металла, широкого применения сборных железобетонных конструкций.

Проектные организации и научно-исследовательские институты Союза создают прогрессивные предварительно напряженные железобетонные конструкции.

Большую работу в области создания несущих железобетонных конструкций покрытий проводит институт Промстройпроект, здесь были разработаны арочные предварительно напряженные железобетонные фермы, которые в дальнейшем подвергались усовершенствованию.

В научно-исследовательском институте строительных конструкций Госстроя СССР разработаны сборно-монолитные покрытия по предварительно напряженным железобетонным арочным фермам.

Исследованию многих вопросов, связанных с работой, технологией изготовления и конструктивными решениями предварительно напряженных железобетонных ферм уделяется внимание ряда ученых и инженеров как в нашей стране (А. П. Васильев, Э. Г. Ратц, Ш. Ю. Цейтлин, Н. П. Кузьмичев, В. Д. Смирнов, Н. Г. Гуденко, А. Д. Либерман, Д. А. Коршунов, О. М. Рубач, В. А. Клевцов, Ю. В. Чипенков, В. А. Белников, И. А. Белинский и др.), так и за рубежом.

К вопросу об учете жесткости узлов при расчете ферм

Вопросу учета жесткости узлов ферм в различное время были посвящены работы многих как отечественных (Е. О. Патон, Г. П. Передерий, К. М. Дубяго, Н. В. Некрасов, С. И. Белзецкий, Б. Н. Жемочкин, Н. К. Снитко, И. К. Снитко и др.) так и зарубежных ученых (О. Мор, Энгессер, Риттер, Мюллер-Бреслау, Ф. Блейх и др.).

Исследования, выполненные до 1938 года, касались дополнительных напряжений вследствие жесткости узлов в стальных фермах. Учитывая опыт эксплуатации и сложность учета жесткости узлов, многие авторы сочли возможным ограничиться расчетом стальных ферм без учета жесткости узлов,

В работах последних лет, относящихся к железобетонным фермам, ряд авторов также приходит к выводу о возможности расчета железобетонных ферм на эксплуатационные нагрузки как шарнирно стержневых систем, ограничиваясь учетом изгибающих моментов в верхнем поясе при наличии внеузловых нагрузок, расчетом его как неразрезной балки.

В настоящей главе рассмотрены основы расчета систем с жесткими узлами по способу Мора, способу угловых деформаций, разработанному Б. Н. Жемочкиным, по способу перераспределения начальных неизвестных (моментов), разработанному И. К. Снитко, приведены основы способа распределения начальных углов поворота, разработанного П. М. Соисом. Кроме того, изложена методика, разработанная и принятая для расчета железобетонных ферм, в Промстройпроекте и в НИИСК'е Госстроя СССР.

Метод угловых деформаций, учитывающий жесткость узлов, наиболее полно отражает действительную работу ферм.

Методика Промстройпроекта и НИИСК Госстроя СССР не даст возможности получить изгибающие моменты от эксплуатационной нагрузки у опорного узла ферм, а так же моменты, возникающие при обжатии нижнего пояса.

Глава III.

Экспериментальное исследование действительной работы предварительно напряженных железобетонных ферм

Экспериментальное исследование действительной работы ферм, проведенное автором, выполнено путем натурных испытаний одиннадцати предварительно напряженных железобе-

тонных ферм пролетами 18, 24 и 30 м, а так же блока сборно-монолитного покрытия пролетом 24 м непосредственно на заводах и полигонах сборного железобетона.

Исследование проведено с целью установить степень влияния жесткости узлов на несущую способность элементов ферм, соответствие действительной работы ферм, принимаемым расчетным предпосылкам, а так же с целью выявления особенностей работы ферм в сборно-монолитных покрытиях и степени включения панелей покрытия и бетона омоноличивания в совместную работу с верхним поясом ферм.

На основе анализа, имеющегося у нас в Союзе опыта, было принято испытание ферм в горизонтальном положении на специально устроенных стендах.

Замер деформаций арматуры и бетона производился при помощи проволочных тензодатчиков с базой 20 и 50 мм, рычажными тензометрами и индикаторами, замер прогибов осуществлялся при помощи прогибомеров. Для определения величины предварительного напряжения стержневой арматуры были изготовлены специальные тензодинамометры.

Испытанию подвергались фермы сборных покрытий типа ФЦ 6-24-2, ФЦ 6-24-3 и ФЛ 6-24-2. Это типовые фермы серии ПК 01-28, перепроектированные Приднепровским Промстройпроектом для применения стержневой предварительно напряженной арматуры. Подвергавшиеся испытанию фермы сборно-монолитных покрытий Ф-18, Ф-24 и Ф-30 пролетами соответственно 18, 24 и 30 м при шаге 6 м — не типовые. Фермы пролетом 18 и 24 м запроектированы Днепродзержинским филиалом Госхимпроект, а пролетом 30 м — Приднепровским Промстройпроектом с участием НИИСК Госстроя СССР.

Замером деформаций арматуры и бетона в сечениях у узлов при помощи тензодатчиков было установлено, что во всех сечениях возникают изгибающие моменты. При этом в сечениях элементов решетки моменты оказались весьма незначительными. В сечениях нижнего пояса они растут до появления трещин. Трещины в нижнем поясе в начальной стадии их появления, как правило не сквозные, а односторонние, т. е. раньше появляются со стороны более растянутых (вследствие действия изгибающих моментов) волокон. Изгибающие моменты в сечениях верхнего пояса не исчезают, а непрерывно растут вплоть до разрушения. Разрушение ферм серии ПК 01-28 происходило по верхнему поясу у конькового узла, в сечениях с максимальными изгибающими моментами.

Исследованием установлено, что жесткость цельных ферм

значительно выше жесткости ферм из линейных элементов. При одинаковой нормативной нагрузке прогиб цельной фермы составил 24 мм, а фермы из линейных элементов 34 мм. Трещины в элементах решетки фермы из линейных элементов появились значительно раньше, чем в цельной.

Экспериментальное исследование действительной работы ферм сборно-монолитных покрытий было проведено по двум стадиям: а) на монтажную нагрузку — до омоноличивания, б) на эксплуатационную нагрузку — после омоноличивания.

Исследование работы сборно-монолитного покрытия пролетом 24 м выполнено путем испытания пространственного блока покрытия. Для этого две фермы устанавливались на колонны с шагом 6 м. По фермам монтировались панели покрытия и производилось омоноличивание.

Замером деформаций арматуры верхнего пояса ферм, каркаса омоноличивания, а также бетона верхнего пояса ферм и крайних поперечных ребер панелей покрытия установлена надежная их совместная работа. При первых же долях эксплуатационной нагрузки бетон омоноличивания интенсивно включался в совместную работу с верхним поясом ферм. Плита панелей покрытия так же включалась в совместную работу с фермами. Тензодатчиками, установленными на плите, были зафиксированы деформации сжатия в направлении вдоль ферм. Эти деформации по мере удаления от фермы к середине панели уменьшались. С возрастанием нагрузки деформации плиты так же росли, но только до нормативной нагрузки, после которой рост деформации сжатия плиты прекратился и деформации даже начали уменьшаться. Включение плит панелей покрытия в совместную работу с верхним поясом ферм заметно уменьшалось от середины к опорам ферм. В крайних панелях покрытия, уложенных у опорных узлов ферм, указанные деформации вовсе не отмечались.

Фермы сборно-монолитных покрытий пролетами 30 и 18 м (Ф-30 и Ф-18) испытывались в горизонтальном положении. Нагрузка создавалась гидравлическими домкратами при помощи системы загрузочных балок. После приложения монтажной нагрузки, фиксировались полученные фермой деформации и под нагрузкой производилось намоноличивание бетона марки 200 кг/см² вдоль всего верхнего пояса фермы. После приобретения намоноличенным бетоном необходимой прочности, продолжалось загрузке фермы эксплуатационной нагрузкой.

Проведенные испытания, в горизонтальном положении,

ферм сборно-монолитных покрытий Ф-30 и Ф-18 показали, что характер развития деформаций арматуры и бетона намоноличивания и верхнего пояса не отличался от характера деформаций, полученных при испытании пространственного блока покрытия. Намоноличенный бетон так же интенсивно вступал в совместную работу с верхним поясом ферм. Срез намоноличенного бетона не наблюдался вплоть до разрушения ферм.

Жесткость ферм сборно-монолитных покрытий после омоноличивания существенно возрастает. Так, одна из ферм Ф-30 была доведена до разрушения без намоноличивания, прогиб ее при 1,5 нормативной эксплуатационной нагрузке составил 80 мм. Прогиб такой же фермы, с намоноличенным по верхнему поясу бетоном при той же нагрузке составил всего 50 мм. Жесткость блока сборно-монолитного покрытия так же оказалась выше жесткости покрытия по сборным фермам.

Экспериментальное исследование действительной работы ферм позволило установить, что в элементах ферм, вследствие жесткости узлов, возникают изгибающие моменты, снижающие несущую способность верхнего и трещиностойкость нижнего поясов до 20—25%. В элементах решетки арочных ферм изгибающие моменты весьма незначительны.

Жесткость узлов вызывает при обжатии появление значительных изгибающих моментов в первых от опоры панелях верхнего пояса и подчас в элементах решетки, что может вызывать появление в них трещин при изготовлении ферм.

Конструкция, разработанных НИИСК Госстроя СССР, сборно-монолитных покрытий обеспечивает надежную совместную работу бетона омоноличивания и крайних поперечных ребер панелей покрытия с верхним поясом ферм; жесткость сборно-монолитного покрытия по сравнению со сборным повышается.

Глава IV

Практические рекомендации по учету жесткости узлов железобетонных ферм

На основе анализа, полученных в настоящей работе и другими исследователями экспериментальных данных, а также теоретических положений, приведенных во второй главе, предлагаются некоторые практические рекомендации по учету жесткости узлов ферм.

Для ферм, нагруженных внеузловой нагрузкой и имеющих криволинейные или с перегибами панели верхнего пояса, уравнение метода угловых деформаций по Б. Н. Жемочкину может быть записано в следующем виде:

$$\begin{aligned} & 2 \left(\sum_A i_{an} \right) \varphi_a + \sum_A (i_{an} \varphi_n) + 2 \left(\sum_A \bar{x}_{an} i_{an} \right) \varphi_a + \\ & + \sum_A (\beta_{an} i_{an} \varphi_n) = 3 \sum_A (i_{an} \psi_{an}) + 3 \sum_A (\gamma_{an} i_{an} \psi_{an}) + \\ & 3 \sum_A \frac{\bar{x}_{an} i_{an}}{l_{an}} \Delta_{an} + \frac{\sum_A M_{an}}{2} = \frac{W''_a}{2} \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь слагаемые с коэффициентами α , β , γ , ξ относятся к криволинейным элементам, остальные — к прямолинейным. Указанные коэффициенты зависят от очертания криволинейных стержней и включают в себя Δ — увеличение расстояния между узлами под действием внешней нагрузки. Эти коэффициенты войдут так же и в формулы для определения концевых моментов криволинейных стержней.

Экспериментально установлено, что величины выгибов изменяются незначительно, что, естественно, влечет за собой еще более незначительное изменение расстояния между узлами верхнего пояса ферм, которое находится в пределах продольных деформаций стержней ферм от осевых усилий. Продольные же деформации учитываются в уравнении (1) и в формулах для концевых моментов при помощи угла поворота стержней ψ .

Таким образом, изменением расстояния между узлами криволинейных элементов верхнего пояса можно пренебречь. Кроме того, в силу незначительных выгибов, т. е. большой пологости панелей верхнего пояса, можно последние считать прямолинейными между узлами, как это принято, например, при расчете рам.

Тем не менее, выгибы или переломы панелей верхнего пояса создают разгружающие моменты за счет действия продольных сжимающих сил по линии, соединяющей узлы. Порядок величины разгружающих моментов близок к порядку моментов, возникающих вследствие жесткости узлов, в связи с чем пренебрегать ими не следует, они должны быть учтены как внешнее воздействие.

На основе изложенного представляется возможным реко-

мендовать уравнение метода угловых деформаций в более простом виде

$$2\left(\sum_A i_{an}\right)\varphi_a - \sum (i_{an}\varphi_n) = 3 \sum_A (i_{an}\psi_{an}) + \frac{\sum M'_{an}}{2} + \frac{\sum W'_{an}}{2} \quad (2)$$

Концевые изгибающие моменты могут быть вычислены по формулам

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= -2i_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b - 3\psi_{ab}) + M'_{ab} + W'_{ab} \\ M_{ba} &= -2i_{ab}(2\varphi_b + \varphi_a - 3\psi_{ab}) + M'_{ba} + W'_{ba} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

- i_{an} — погонная жесткость стержней фермы,
- φ_a, φ_n — соответственно угол поворота узла A фермы и узлов связанных с узлом A,
- углы поворота стержней фермы, сходящихся в узле A,
- M'_{an} — опорные моменты в стержнях основной системы метода деформаций от внешней нагрузки,
- W'_{an} — опорные моменты в криволинейных стержнях основной системы от действия продольных сил по линии, соединяющей узлы.

Жесткость стержней принимается по нормам проектирования в соответствии с условиями работы стержня (сжатый, растянутый, с трещинами, без трещин). Углы поворота стержней рекомендуется определять по Мору, путем нагружения стержней фермы единичными парами. Усилия в стержнях при таких нагружениях определяются весьма просто с использованием разработанных нами формул и таблиц, которые приводятся в приложении. Опорные моменты в стержнях основной системы для возможных комбинаций внеузловых нагрузок приведены также в приложении. Опорные моменты в криволинейных или с переломами стержнях основной системы от действия сжимающих усилий, могут быть определены по полученным нами формулам, приведенным также в приложении.

Углы поворота узлов находятся путем решения систем уравнений. При сравнительном расчете ферм, выполненном нами, системы уравнений метода угловых деформаций решались при помощи электронной математической машины МАУ-3Э.

В настоящей главе также разработана методика приме-

ния метода распределения начальных углов поворота, разработанного П. М. Сосисом, для расчета ферм с учетом жесткости узлов. Метод распределения, основанный на использовании идеи угловых фокусных отношений с методом последовательных приближений, в противоположность методу моментных фокусов, позволяет производить расчет при одновременном загрузении всех пролетов.

По данной методике углы поворота узлов φ_i определяются без решения систем уравнений, путем распределения начальных углов, устраняя последовательно защемления узлов в основной системе метода деформаций.

Окончательные концевые изгибающие моменты в стержнях фермы определяются по формуле

$$M_{av} = M_{av}^p + M_{av}^{\frac{1}{2}} - M_{av}^{выг} + T_{av}(\varphi_a - 0,5\varphi_b) \quad (4)$$

Для сравнения экспериментальных данных с теоретическими, в настоящей главе выполнен расчет ферм различными методами. В качестве примера рассмотрим ферму ФЦ 6-24-2.

В таблице 1 приведены величины изгибающих моментов в сечениях верхнего пояса в тоннометрах.

Таблица 1.

Изгибающие моменты в сечениях верхнего пояса фермы ФЦ 6-24-2.

Метод расчета	Сечения					
	1-я панель			2-я панель		
	у опор	посредине пролета	слева от промежут. узла	справа от промежут. узла	посредине пролета	слева у конька
1. Метод угловых деформаций	-0,142	3,96	2,75	2,88	-1,46	4,82
2. Тоже с учетом шарнирного прикрепления решетки	-0,124	4,0	2,81	2,62	-1,58	4,85
3. Метод распределения	-0,120	3,97	2,73	2,88	-1,51	4,72
4. Тоже с учетом шарнирного прикрепления решетки	-0,136	3,99	2,80	2,79	-1,53	4,77
5. Методика Промстройпроекта	0	3,27	1,75	1,75	-2,52	4,53
6. Методика НИИСК	0	4,03	3,277	3,277	-1,86	4,42

Как видим, характер изменения и величины изгибающих моментов, полученные по методу угловых деформаций и методу распределения, практически одинаковы. Величины же

моментов, полученные по методике Промстройпроекта и НИИСК, в ряде сечений заметно отличаются от полученных по другим методам.

Для сравнения теоретических данных с экспериментальными рассмотрено отношение моментов в сечении к максимальному и проведено сравнение их с отношениями полученными экспериментально по графикам изменения деформаций для ферм ФЦ 6-24-2 и ФЦ 6-24-3 (таблица 2). В связи с тем, что указанные фермы имеют одинаковую конфигурацию и решетку, теоретические соотношения моментов для них оказались практически одинаковыми.

Таблица 2.

Отношение моментов в сечении к максимальному.

Метод расчета	Сечения					
	1-я панель			2-я панель		
	у опоры	посредине пролета	слева от промежут. узла	справа от промежут. узла	посредине пролета	слева у конька
1. Метод угловых деформаций	0,029	0,82	0,57	0,597	0,303	1
2. То же с учетом шарнирного прикрепления решетки	0,026	0,83	0,58	0,54	0,306	1
3. Метод распределения	0,025	0,84	0,578	0,61	0,32	1
4. То же с учетом шарнирного прикрепления решетки	0,028	0,836	0,588	0,564	0,32	1
5. Методика Промстройпроекта	0	0,71	0,382	0,382	0,55	1
6. Методика НИИСК	0	0,91	0,74	0,74	0,42	1
7. Экспериментальные данные по ФЦ 6-24-2	0,028	0,848	0,584	0,56	0,31	1
8. То же по ФЦ 6-24-3	0,031	0,86	0,52	0,51	0,37	1

Как видно из таблицы 2, экспериментальные данные близки к методам угловых деформаций и распределения. Наибольшее, и в отдельных сечениях весьма значительное, отличие от экспериментальных данных имеют результаты, полученные по методике Промстройпроекта.

Из приведенных таблиц можно так же установить, что принимая прикрепление решетки к поясам шарнирным, получим незначительное изменение моментов в поясах. Экспериментально установлено, что после появления трещин в элементах решетки у примыкания их к поясам (при наличии

плоских арматурных каркасов в элементах решетки), т. е. после появления фактических шарниров в этих местах, в характере изменения деформаций в верхнем и нижнем поясах не происходит заметных изменений. Таким образом, прикрепление решетки к поясам вполне допустимо принимать при расчетах шарнирным.

Для всех других ферм, испытанных нами, экспериментальные данные также близки к эпюрам изгибающих моментов, полученным по методам угловых деформаций и распределения.

Выполненные нами расчеты ферм Ф-18, Ф-24 и Ф-30, на усилия, возникающие при обжатии, показали, что в элементах верхнего пояса максимальные изгибающие моменты при этом возникают у первого от опоры узла. Как показывают наши исследования и исследования других авторов, изгибающие моменты возникающие при обжатии могут вызвать появление недопустимых трещин. Продольные усилия, возникающие при обжатии нижнего пояса, в верхнем поясе и элементах решетки, обычно составляют доли процента от эксплуатационных усилий и, следовательно, могут не учитываться.

Глава V

Экспериментальное исследование работы опорных узлов ферм

Целью экспериментального исследования опорных узлов было установить надежность анкеровки стержневой предварительно напряженной арматуры и рациональное армирование узлов.

Для исследования были приняты образцы в виде треугольных ферм со средней стойкой, которые наиболее близко отражают действительную работу опорных узлов ферм.

Испытанию подвергнуто 17 образцов, составивших 6 серий. Первые пять серий (14 образцов) представляли собой образцы с развитыми (прямоугольными) опорными узлами, шестая серия представляла узлы, образованные путем непосредственного пересечения поясов. Серии отличались армированием опорных узлов. В каждой серии имелись образцы со специальными анкерными плитами толщиной 20 мм, приваренными к предварительно напряженным стержням нижнего пояса в торце опорного узла перед их отпуском. Косвенное армирование непосредственно в зоне анкеровки (у торца опоры) не применялось с тем, чтобы не исказить работу арматуры нижнего пояса на выдергивание.

Испытывались образцы в вертикальном положении на прессе мощностью 100/500 тонн. Измерение деформаций предварительно напряженной арматуры, поперечной арматуры и бетона опорного узла производилось при помощи тензодатчиков. Возможное проскальзывание арматуры в опорных узлах наблюдалось при помощи индикаторов.

Деформации предварительно напряженной арматуры и бетона по оси нижнего пояса в пределах опорного узла постепенно нарастали от торца опорного узла к поясам. Характер изменения деформаций в образцах всех серий был аналогичен; наличие анкерных пластин совершенно не повлияло на характер изменения деформаций. Наличие анкерных пластин не повлияло также ни на жесткость образцов, ни на нагрузку трещинообразования, ни на характер развития трещин на опорных узлах. Ни в одном из образцов, не имевших анкерных пластин, вплоть до разрушения не наблюдалось проскальзывания предварительно напряженной арматуры в опорных узлах.

Стержни поперечной арматуры опорных узлов при всех видах армирования начинали работать только при появлении пересекающих их трещин.

Сравнение результатов испытания образцов опорных узлов показывает, что существенное повышение несущей способности их явилось следствием предварительного напряжения. Характер поперечного армирования узлов не оказал заметного влияния на их несущую способность. Опорные узлы, образованные путем пересечения поясов, работали так же надежно, как развитые узлы других серий.

Полученные нами эпюры напряжений по высоте сечений опорных узлов, а так же результаты исследования оптически активных моделей опорных узлов, выполненные в Новосибирском инженерно-строительном институте гг. Макаревич А. А., Курмей Г. Е. и Голиковым А. И. дают основание считать, что работа опорных узлов ферм аналогична работе опорных участков балок.

Глава VI

Выбор конструкции и технологии изготовления ферм в условиях Приднепровья

В настоящей главе изложен опыт внедрения предварительно напряженных железобетонных ферм и сборно-монолитных покрытий в Приднепровье, в чем принимал участие автор.

На основе имевшегося отечественного опыта и проведенных исследований, на предприятиях и стройках Главприднепровстроя приняты цельные предварительно напряженные фермы пролетами 18, 24 и 30 м со стержневой предварительно напряженной арматурой, натягиваемой на упоры, трудоемкость и стоимость изготовления которых минимальные.

Для изготовления ферм приняты короткие камерные стенды, обеспечивающие эффективное использование теплоносителя при термообработке, сокращение производственного цикла, высокую оборачиваемость опалубки и хорошее качество конструкций.

Сравнение стоимости изготовления ферм на предприятиях Главприднепровстроя приведено в таблице 3.

Таблица 3.

Сравнение стоимости изготовления ферм

Изготовитель	Тип стенда или ферм	Стоим. в %%
Баглейский завод	Камерный стенд	100
Трест «Днепрохимстрой»	Пакетный стенд	132,8
Нижнеднепровский завод	Пакетный стенд	151,1
То же	Фермы из лицевых элементов	170,7
Никопольский завод	Камерный стенд	111,8
Стройкомбинат № 1	Камерный стенд длиной 62	123,7

Транспортировка цельных ферм пролетом 30 м производится железнодорожным транспортом при помощи приспособления предложенного автором.

На строительстве химических предприятий Приднепровья широко внедряются сборно-монолитные покрытия, исследованные автором. Применение сборно-монолитных покрытий даст возможность получить до 25% экономии бетона и стали. В Приднепровье возведено около 30 тыс. квадратных метров сборно-монолитных покрытий.

Заключение

Выполненными исследованиями действительной работы ферм установлено, что вследствие жесткости узлов в элементах ферм, как при обжатии так и при эксплуатационной нагрузке, возникают изгибающие моменты, сохраняющиеся в сечениях верхнего пояса вплоть до разрушения.

В связи с тем, что указанные моменты снижают несущую способность верхнего и трещиностойкость нижнего поясов до 20—25%, они должны учитываться при проектировании ферм.

При расчете ферм на эксплуатационную нагрузку допустимо принимать прикрепление решетки к поясам шарнирным.

При расчете ферм на усилия обжатия, который приобретет особенно большое значение с освоением нашей промышленностью высокопрочной стержневой арматуры, прикрепление решетки к поясам должно приниматься жестким. С целью предотвращения появления трещин при обжатии нижнего пояса в элементах решетки, последние необходимо армировать пространственными каркасами.

Как показывают, выполненные теоретические и экспериментальные исследования, наиболее близкими к действительной работе ферм являются величины изгибающих моментов, полученные при расчете по методу угловых деформаций.

Автором разработана и рекомендована методика расчета ферм с учетом жесткости узлов методом угловых деформаций. Уравнения угловых деформаций целесообразно решать при помощи электронных машин.

При необходимости избежать решения систем уравнений ферма с достаточной точностью может быть рассчитана по разработанной автором методике, основанной на методе распределения начальных углов поворота узлов.

Для упрощения определения углов поворота стержней ферм, необходимых как для метода угловых деформаций, так и для метода распределения, автором разработаны готовые формулы и таблицы для возможных типов железобетонных арочных ферм.

Экспериментальным исследованием установлено, что в конструкциях сборно-монолитных покрытий, разработанных НИИСК Госстроя СССР, бетон омоноличивания и крайние поперечные ребра панелей покрытия интенсивно вступают в совместную работу с верхним поясом ферм. Принятые бетонные шипы, устраиваемые по верхнему поясу ферм, обеспечивают восприятие сдвигающих усилий в плоскости контакта и должны устраиваться по всему поясу и в том числе на опорах фермы, где сдвигающие усилия максимальны.

Комплексное сечение верхнего пояса фермы сборно-монолитного покрытия может рассчитываться на полное усилие от эксплуатационной нагрузки без учета начальных напряжений в собственно верхнем поясе фермы от монтажной нагрузки.

Плиту панелей покрытия, не следует учитывать при расчете комплексного сечения.

Напряженное состояние опорных узлов ферм, как показывают экспериментальные исследования, близко напряженному состоянию опорных участков балок. Вследствие этого, опорные узлы ферм могут рассчитываться как балки на поперечную силу.

Анкеровка стержневой предварительно напряженной арматура из стали класса А-IIIВ и А-IV в опорных узлах ферм обеспечивается их периодическим профилем и нет необходимости в применении специальных анкерных плит. Длина зоны анкерования может быть принята равной 10 диаметрам предварительно напряженных стержней. В зоне анкерования должно применяться косвенное армирование сетками из обыкновенной проволоки диаметром 4—5 мм, с ячейкой 60—80 мм и шагом 80—100 мм, но не менее четырех сеток.

Экспериментально установлено, что виды поперечного армирования не оказывают существенного влияния ни на несущую способность, ни на трещинообразование опорных узлов. Вследствие указанного, целесообразно применять наиболее простое армирование опорных узлов плоскими сетками со стержнями нормальными к оси нижнего пояса.

Отпуск предварительно напряженной арматуры может производиться путем поочередного постепенного нагрева стержней на участке 200—250 мм горелкой бензореза с последующим перерезыванием их. Резкое перерезывание стержней недопустимо в связи с нарушением при этом анкерования их.

Список работ, в которых опубликовано основное содержание диссертации.

1. Акатов Г. И. Изготовление и экспериментальное исследование действительной работы предварительно напряженных железобетонных ферм со стержневой арматурой. Тезисы и аннотации докладов на межвузовском научном совещании. Харьков, 1961.

2. Акатов Г. И. Изготовление и испытание предварительно напряженных железобетонных ферм со стержневой арматурой. «Промышленное строительство и инженерные сооружения», № 4, 1961.

3. Акатов Г. И., Коршунов Д. А. Испытание фрагмента сборно-монолитного покрытия. «Промышленное строительство и инженерные сооружения», № 2, 1963.

4. Акатов Г. И. Экспериментальное исследование работы сборно-монолитных железобетонных покрытий промышленных зданий. Сборник трудов XXIII научной конференции Днепропетровского инженерно-строительного института, Харьков, 1963.

5. Акатов Г. И. Испытание фермы сборно-монолитного покрытия пролетом 18 м. Сборник трудов Днепропетровского инженерно-строительного института, вып. 31, Харьков, 1963.

6. Акатов Г. И. Испытание предварительно напряженных ферм пролетом 30 м. Сборник трудов Днепропетровского инженерно-строительного института, вып. 31, Харьков, 1963.

7. Акатов Г. И. К вопросу о расчете предварительно напряженных железобетонных ферм. Материалы XXV научной конференции (тезисы докладов) Днепропетровского инженерно-строительного института, 1964.

* * *

Результаты исследования работы сборно-монолитных покрытий, выполненного автором, использованы в Указаниях по применению сборно-монолитных покрытий промышленных зданий типа коротких цилиндрических оболочек (РСН 121-64) Госстроя СССР.

Основные материалы диссертации были доложены автором на межвузовском научном совещании по вопросам теории и практики применения предварительно напряженных железобетонных конструкций (Харьков, 1961 г.), на научно-технической конференции проектного института «Приднепровский Промстройпроект» (Днепропетровск, 1960 г.), на совещании строителей Государственного института азотной промышленности (Днепродзержинск, 1962 г.), на XXIII (1962 г.) XXIV (1963 г.) и XXV (1964 г.) научных конференциях Днепропетровского инженерно-строительного института.

сканировала Камянская Н.А.

БТ 08228. Областная книжная типография
Днепропетровского областного управления по печати,
г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.

Заказ 1583-м. Тираж 200. Объем 1,25 п. л. Подписано к печати 29. XII. 64 г.