

ОДЕССКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

на правах рукописи

АЛИ МУХАММАД АЛЬ-ДЖАРРАШ



ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ АНКЕРНО-ШПОНОЧНЫХ  
СТЫКОВ НА РАБОТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
СОСТАВНЫХ ПЛОСКИХ ПЛИТ

Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции,  
здания и сооружения

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

Одесса-1992

Работа выполнена на кафедре железобетонных и каменных конструкций Одесского инженерно-строительного института.

Научный руководитель - кандидат технических наук,  
профессор МАЙБОРОДА В.Ф.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
БАРАШИКОВ А.Я.

кандидат технических наук, доцент  
КАРГЮК В.М.

Ведущая организация - Проектно-исследовательский и конструкторско-технологический институт "Одесский Стройпроект"

Защита состоится " 3 " мая 1992 г.  
в 11 час. на заседании Специализированного Совета Д.068.41.01  
в Одесском инженерно-строительном институте по адресу: 270029,  
Одесса, ул. Дидрихсона, 4, ОИСИ, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 1 " мая 1992 г.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка

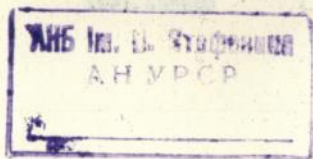


00816166 (S)

Ученый секретарь

Специализированного Совета

кандидат технических наук, доцент Малахова Н.А. Малахова



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Важная особенность индустриальных типов сборных железобетонных конструкций - соединение их монтажными стыками, конструкция которых оказывает большое влияние на несущую способность, надежность, долговечность конструкций, а также на их экономическую эффективность.

Несмотря на многолетний опыт применения сборного железобетона, проблема надежного эффективного соединения сборных железобетонных элементов решена не полностью и остается актуальной.

В последнее время широкое применение нашла конструктивная система многоэтажных каркасно-панельных зданий (серия разработана институтом ЦНИИЭПжилища, названа КУБ) с безбалочными перекрытиями из плоских плит; пространственная жесткость и устойчивость каркаса, работающего по рамной или рамно-связевой схеме, обеспечивается в числе других факторов надежной работой замоноличенных стыков между элементами; плоские плиты перекрытий предусмотрено соединять между собой петлевыми стыками Передегера с шириной монолитных участков 200 мм.

Обследование эксплуатируемых зданий серии КУБ показало, что состояние стыков между плитами не всегда удовлетворительно, зачастую по контактным поверхностям появляются трещины вследствие усадки бетона монолитных участков перекрытия. Этот недостаток является общим для сборно-монолитных конструкций, особенно при замоноличивании бетоном в холодные или жаркие времена года.

С целью преодоления указанного недостатка различными авторами разработано множество типов стыков со сваркой закладных деталей плит, что значительно увеличивает расход стали и требует достаточно больших трудозатрат при монтаже. Разработка конструкции стыка плит, требующего минимального расхода трудозатрат при монтаже плит и минимального объема смеси для замоноличивания, - актуальная задача. Для ее решения необходимо разработать новый тип стыка плит, провести исследования, дать рекомендации по расчету и конструированию.

Цель работы - разработать конструкцию стыка плит, исследовать работу плоских плит с новыми стыками, разработать методику учета податливости нового стыка на трещиностойкость, деформации, несущую способность составных плит, изучить контактные деформации в области стыка плит.

Научная новизна работы заключается в новых данных о характере работы нового, анкерно-шпоночного стыка плит, о его трещиностойкости, деформативности, несущей способности:

определены трещиностойкость, деформативность, несущая способность составных плит с анкерно-шпоночным стыком в сравнении с цельной;

исследовано влияние вида и прочности раствора замоноличивания швов стыка на параметры работы составных плит;

выявлено отличие в характере работы стыка составных плит, испытанных по однопролетной и многопролетной схемам;

исследовано общее напряженное состояние и локальные зоны концентрации деформаций (напряжений) в элементах стыка и плитах.

Автор защищает:

новую конструкцию анкерно-шпоночного стыка плит;

результаты экспериментальных исследований работы составных плит с анкерно-шпоночными стыками;

методику расчета трещиностойкости составных плит, учитывающую различный характер образования трещин в зависимости от прочностных характеристик раствора замоноличивания;

методику учета податливости анкерно-шпоночных стыков в расчетах деформаций составных плит и в перераспределении усилий в многопролетных конструкциях.

Практическое значение диссертационной работы заключается в следующем:

разработана конструкция анкерно-шпоночного стыка плит, на требующего замоноличивания бетоном и сварочных работ при монтажных работах; повышена монтажная технологичность плит за счет применения контактного способа монтажа, что влечет за собой экономию трудовых затрат монтажа;

результаты экспериментально-теоретических исследований использованы при разработке рекомендаций по расчету и конструированию анкерно-шпоночных сухих стыков плит, работающих при изгибе;

предлагаемая методика расчета проста, удобна для практического использования, позволяет вести расчет без применения ЭВМ;

результаты настоящих исследований использованы при привязке типовых проектов системы КУБ конструкторским отделом производственного объединения "Зарубежстрой";

работа выполнена в соответствии с координационным планом НИР Госстроя СССР в области бетона и железобетона на 1986-1990 гг. (проблема 1, пункт 3) и планом НИР Одесского инженерно-строитель-

ного института на 1986-1990 гг. по теме "Безреберные плиты и перекрытия", рег. № 0186008905.

Апробация работы. Основные положения и результаты настоящих исследований должны быть одобрены на конференциях: "Проблемы комплексной застройки южного берега Крыма" (г. Симферополь, 1988 г.); "Ресурсосбережение и экология" (г. Ижевск, 1990 г.); научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Одесского инженерно-строительного института (г. Одесса, 1988-1991 гг.), а также на семинаре повышения квалификации специалистов по строительным конструкциям СПО "Совзкурортпроект" (г. Одесса, 1991 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано две печатные работы.

Объем работы. Работа изложена на 161 странице основного текста, включая 85 рисунков, 16 таблиц, состоящих из введения, четырех глав, выводов, списка литературы из 107 наименований и приложений.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе работы приведен обзор опыта применения различных стыков, исследованиям которых посвящены труды Б.С. Василькова, И.М. Володина, В.Н. Голосова, Е.В. Горячека, О.С. Дехе, В. Енгина, Л.В. Захарова, В.Г. Квашой, О.И. Климова, Э.Г. Кожемякина, Ч.Н. Коровина, С.М. Крылова, К. Лакса, Я.М. Айзенберга, В.И. Лишаккой, В.Г. Маткова, Л.В. Махвиладзе, Ю.Л. Мельникова, В.Г. Минарского, М. Пармере, Г.П. Передерия, Ф. Рейза, Л.М. Сорокалевой, Г.М. Суладзе, А.М. Чистякова, А.В. Яшина и др.

Раньше существовала тенденция выполнения стыков адекватными монолитным конструкциям, затем по мере развития методов расчета статически неопределимых конструкций с учетом перераспределения усилий появились новые виды стыков с частичным и неполным защемлением; в каждом случае тип стыков, их расчетно-конструктивные особенности влияют на расчетную схему зданий в целом.

Во многих случаях, например, при неравномерных деформациях оснований, климатических воздействиях, усадке бетона чрезмерная жесткость соединений оказывается неблагоприятным фактором.

Стыки изгибаемых элементов в основном подразделяются на группы:

1. Сварные стыки на закладных деталях или непосредственно со сваркой рабочей арматуры.
2. Несварные петлевые стыки различных видов.
3. Шпильчатые стыки со сваркой арматуры или шпильчатые несварные со спиральной арматурой (либо несварные на полимеррастворе).

Стыки на закладных деталях очень трудоемки, но их применение оправдывается их способностью восприятия различных видов усилий. С другой стороны, в стыках с непосредственной сваркой рабочей арматуры, как показали исследования, наблюдается раннее раскрытие трещин по контакту между новым и старым бетоном, кроме того, возникают дополнительные реактивные напряжения в рабочей арматуре в результате сокращения длины стержней при их остывании. Прочность сечений таких стыков составляет 80% прочности сечений аналогичных цельных элементов.

Исследования, выполненные Ю.Л. Мельниковым, А.В. Захаровым, Л.М. Сорокадоговой и др. показали, что прочность леглевых стыков при сжатии снижается на 35%; для изгибаемых элементов во избежание кручения бетонного ядра леглевые стыки должны быть с удлиненными петлями, причем в плане смещенными друг относительно друга.

Известные шпоночные стыки требуют не только специального оформления элементов при их изготовлении, но и как все перечисленные виды стыков, имеют общий технологический недостаток, заключающийся в том, что они требуют большого объема монолитного бетона и арматурных работ при монтаже зданий.

Несварные стыки проектируют так, чтобы их прочность была не менее прочности стыков со сваркой рабочей арматуры.

В связи с податливостью несварных стыков ширина раскрытия трещин в них может превышать соответствующий параметр стыков со сваркой арматуры, но не более чем на 15%. Усилие, вызывающее образование трещин, получается меньше, чем в сечениях сварных стыков.

Разработка нового вида стыка плоских железобетонных плит, который назван анкерно-шпоночным, привязана к безбалочным перекрытиям конструктивной системы КУБ.

Анализ работы леглевых и других видов стыков показал, что вместо замоноличиваемого стыка можно принять анкерно-шпоночный стык, исключив арматурные и бетонные работы на монтаже. При этом предусмотрено шов между соединяемыми элементами заполнять цементно-песчаным раствором, а при необходимости - полимерраствором (рис. 1).

Проведение экспериментально-теоретических исследований преследовало следующие задачи:

1. Изучение трещиностойкости, жесткости, механизма деформирования и разрушения составных плоских плит с анкерно-шпоночным стыком; изучение влияния податливости стыков на работу изгибаемых элементов.

2. Разработка методики расчета анкерно-шпоночных стыков плит, а также методики учета податливости стыков в расчетах плит перекрытий.

3. Выявление напряженно-деформированного состояния анкерно-шпоночного стыка и его элементов при изгибе.

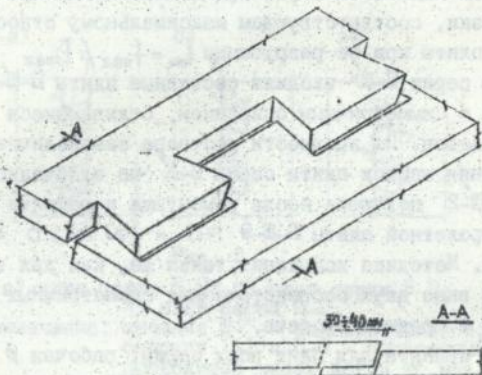


Рис. 1

В соответствии с задачами исследования было испытано шесть серий плит.

В первую серию (А-1-1, А-1-2) входили цельные плиты, которые служили эталоном для сравнения.

Во вторую серию (В-1-1, В-1-2) - составные плиты, швы которых были заполнены полимерраствором с кубиковой прочностью около 83 МПа.

Третья серия (В-П-1, В-П-2, В-П-3, В-П-4) состояла из составных плит, швы которых заполнялись прочным цементно-песчаным раствором с кубиковой прочностью  $R_2 \approx 18$  МПа.

В четвертую серию (В-Ш-1, В-Ш-2) входили составные плиты со швами, заполненными сравнительно слабым цементно-песчаным раствором  $R_2 \approx 6,5$  МПа.

Шпонки плит серий В-1, В-П, В-Ш были конструктивно армированы пространственным каркасом из арматуры  $\varnothing 6$  мм.

В пятую серию (В-1-1, В-1-2) входили составные плиты, отличающиеся от плит серии В-П тем, что в их шпонках отсутствовал арматурный пространственный каркас, однако была дополнительная продольная арматура, площадь которой равна площади обрываемой рабочей арматуры.

Размеры опытных плит вышеперечисленных серий: высота  $h = 160$  мм (как в натурных плитах серии КУБ),  $b = 900$  мм (из условий

размещения в испытательном прессе),  $L = 2000$  мм (из условия работы по балочной схеме). Все они были испытаны по статической схеме работы однопролетной свободно опертой балки, нагруженной до уровня максимальной нагрузки двумя сосредоточенными симметричными грузами, прикладываемыми ступенями с выдержкой 15 мин. При этом испытание опытных плит всех серий приостанавливали при уровне максимальной нагрузки, соответствующем максимальному относительному прогибу цельной плиты при ее разрушении  $f_{\text{отн}} = f_{\text{max}} / F_{\text{max}} = 0,135$  мм/кН.

В шестую серию В-Ш входили составные плиты В-Ш-2, В-Ш-9 - трехпролетные с симметричным опиранием, отличающиеся друг от друга размерами пролетов. По прочности раствора замоноличивания и характеру армирования шпонак плиты серии В-Ш не отличались от серии В-III. Плита В-Ш-2 получена после демонтажа и ремонта плиты В-III-2; размеры трехпролетной плиты В-Ш-9:  $h = 160$  мм,  $b = 900$  мм,  $L = 3765$  мм. Методика испытания такая же, как для всех серий, но нагрузку в виде двух сосредоточенных симметричных грузов прикладывали только в среднем пролете.

Арматура принята для плит всех серий: рабочая  $\emptyset$  8А-III с шагом 200 мм, распределительная  $\emptyset$  8А-III с шагом 300 мм; прочность бетона составляла  $R = 18$  МПа. Составы бетона и раствора подбирали методом планирования эксперимента.

Исходя из ширины плиты  $b = 900$  мм и необходимости наличия количества шпонок  $n \geq 3$  была выбрана ширина шейки шпонки  $b_{\text{min}} = 70$  мм и в широкой части  $b_{\text{max}} = 330$  мм, длина шпонки  $160$  мм =  $20d$ . Угол наклона поверхностей шпонок был принят  $22^\circ$ .

Деформации сжатых и растянутых граней плит в зоне стыка и их прогибы измеряли с помощью индикаторов часового типа; деформации бетона и арматуры шпонок - посредством проволоочных тензорезисторов с базой соответственно 50 и 10 мм.

#### Основные результаты исследований:

Долговечность стыков и сооружений в целом в первую очередь зависят от трещиностойкости стыковых соединений.

Картина начального трещинообразования по растянутым граням составных плит серий В-I, В-II была такой же, как цельных плит серии А-I; отличие состояло в том, что в плитах серии В-I начальные трещины появились в сечениях рядом с зоной стыка вследствие ее повышенной жесткости, в плитах серии В-II - в сечениях, ограничивающих область стыка. Свообразным был характер трещинообразования плит серии В-III, где трещины проходили по контактным поверхностям шва (по зигзагообразному сечению). У плит серии В-I трещины не

столь четко ориентированы и проходили частично по контактным поверхностям, частично - по нормальным сечениям в области стыка, что объясняется пониженной жесткостью самих шпонок из-за отсутствия в них специального армирования (рис. 2).

Характер начального трещинообразования на растянутой зоне составных плит

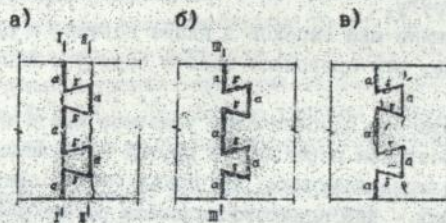


Рис. 2

а) плит серии В-П; б) плит серии В-Ш;

в) плит серии В-І.

Примечание: сечение III-III - зигзагообразное; сечения I-I и II-II - поперечные, проходящие через шейки шп. нок

Последующее трещинообразование в плитах серий В-П, В-Ш, В-І, В-Ш также имело свои особенности. Одновременно с раскрытием начальных трещин на растянутой грани плит появились волнообразные трещины в зоне стыка, с ориентацией по нормали к косым частям стыка - бытовым граням шпонок. Это объясняется характером деформирования плит, а именно - подвижкой боковых граней смежных шпонок друг относительно друга и действием по указанным граням растягивающих усилий.

В плитах серий В-Ш, В-І, в отличие от других плит, в сечениях шеек шпонок трещины появились в последнюю очередь.

Таким образом, установлено, что прочность раствора замоноличивания швов стыка значительно влияет на последовательность, характер образования трещин, их раскрытие.

Для плит основных серий сечение с трещинами состоит из отдельных участков, соответственно:

$$M_{\text{итг}} = M_2 + M_{\text{ш}} \quad \text{для плит серий В-П,} \quad (I)$$

$$M_{\text{итг}} = M_2 + M_3 \quad \text{для плит серий В-Ш,} \quad (2)$$

где  $M_2$  - часть изгибающего момента, воспринимаемого участками шва а-а' при нарушении нормального сцепления и рассчитываемого как бетонного сечения по СНиП 2.03.01-84 с заменой  $R_{\text{ит}}$  на  $R_{\text{д}}$  нормальное сцепление между бетонной поверхностью шпонки и раствором замоноличивания стыка плит;  $M_{\text{ш}}$  - часть момента, воспринимаемого

сечениями шпек шпонок (по СНиПу 2.03.01-84);  $M_g$  - часть момента, воспринимаемого участками шва б-б'.

Пластинчатый растворный элемент б-б' находился в сложном напряженном состоянии, в котором преобладал объемный переко с кручением. Об этом свидетельствуют трапециевидные эпюры деформаций по гребням элемента с максимальными ординатами, расположенными по диагонали д. уг к кругу.

При малой толщине шва переко в плане невелик и для упрощения им можно пренебречь, что позволяет свести задачу к плоскому переко с кручением.

Характер разрушения пластинчатых участков шва б-б' в одних случаях был более свойственен переко, в других - кручению. Соответственно для определения величины  $M_g$  предлагается один из двух способов. Первый из них - для плоского переко растворных пластин б-б', толщиной  $t$  по формуле А.Ф. Кирпия, преобразованной с учетом положения пластин, расположенных под углом  $\alpha$  к оси составной плиты:

$$M_g = 1,44 \pi \cdot R_{2t} \cdot t \cdot H^2 \cdot \left(\frac{L}{H}\right)^{0,8} \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

где  $\pi$  - количество растворных пластин б-б';  $R_{2t}$  - прочность раствора на растяжение;  $t, H$  - толщина и высота пластины б-б';  $L$  - длина пластины б-б';  $\alpha$  - угол наклона боковых плоскостей шпонки в плане относительно продольной оси элемента.

По второму способу изгибающий момент определяется как крутящий момент, вызывающий нарушение касательного сцепления между бетонной поверхностью шпонок и растворной пластиной б-б',

$$M_g = \mathcal{E} \cdot \pi \cdot R_T \cdot L_{\text{жк}} \cdot H^2 \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}$  - табличный коэффициент, зависящий от отношения размеров прямоугольника, заменяющего ромбообразное сечение пластины б-б';  $\pi$  - количество растворных пластин б-б';  $R_T$  - прочность касательного сцепления бетона с раствором, которую можно определить по формуле  $R_T = 0,52 / (1 + 5/R_2)$ , где  $R_2$  - прочность раствора на сжатие, МПа;  $L_{\text{жк}}, H$  - длина и высота прямоугольника, заменяющего ромбообразное сечение пластины б-б';  $\alpha$  - угол наклона боковых плоскостей шпонки в плане относительно продольной оси элемента.

Для получения окончательного значения  $M_{\text{ггс}}$  при растворе низкой марки прочности вводим поправочный коэффициент  $\gamma$ , тогда

$$M_{\text{ггс}} = M_a + \gamma \cdot M_g \quad (5)$$

$$\gamma = \eta + (\eta - 1,1) M_a / M_g \quad \eta = M_{\text{ггс}}^{\text{ог}} / (M_a + M_g) \quad (6)$$

где  $\delta$  - безразмерный опытный коэффициент, учитывающий деформации пластин б-б' в условиях сложного напряженного состояния и замену этого состояния на более простое, а также роль контактных простоек между бетоном и раствором. По опытным данным среднее значение коэффициента  $\delta$  примерно равно 1,35, но поскольку наблюдается закономерность (6), то предлагается считать  $\delta$  дополнительным коэффициентом надежности при определении  $M_{ггг}$  для составных плит с цементно-песчаным раствором замоноличивания швов;  $M_g$  - меньшая из двух величин, рассчитанных по формулам (3) и (4), (см. табл. I). Если  $M_{ш} > M_g$ , то начальная трещина проходит зигзагообразно по растворному шву; если же  $M_g > M_{ш}$ , то первые трещины проходят по нормальным сечениям плит, а уже затем - по растворному шву стыка.

Изгибающие моменты при образовании трещин  
в составных плитах основных серий

Таблица I

| Серия  | Б-II                            |        |        |        | Б-III                |                       | Б-I   |       |       |
|--|---------------------------------|--------|--------|--------|----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|
|  | Б-II-1                          | Б-II-2 | Б-II-3 | Б-II-4 | Б-III-1              | Б-III-2               | Б-I-1 | Б-I-2 |       |
| Марка опытных плит   | Б-П-1                           |        |        |        |                      |                       |       |       |       |
| Макс. нагрузка $F_{ггг}$ при $f_{ггг} = 0,135 \text{ мк/кн}$ | 45,0                            | 42,5   | 47,6   | 47,5   | 25                   | 22,5                  | 26,5  | 26,0  |       |
| Опытная нагрузка $F_{ггг}^{00}$ , кН                         | 14,0                            | 13,5   | 14,6   | 14,6   | 6,0                  | 6,2                   | 13,0  | 13,6  |       |
| Значения моментов в кН·м                                     | $M_{ггг}^{00}$                  | 5,658  | 5,508  | 5,838  | 5,808                | 3,258                 | 3,318 | 5,358 | 5,538 |
|  | $M_{a1}$                        | 2,640  | 2,588  | 2,900  | 2,830                | 0,881                 | 0,881 | 2,859 | 2,95  |
|  | $M_{a2}$                        | 2,25   | 2,206  | 2,472  | 2,420                | 0,750                 | 0,750 | 2,470 | 2,510 |
|  | $M_a = M_{a1} + M_{a2}$         | 4,890  | 4,794  | 5,372  | 5,276                | 1,631                 | 1,531 | 5,369 | 5,460 |
|  | $M_{г,пер}$ по (3)              | 2,487  | 2,465  | 2,770  | 2,670                | 1,013                 | 1,044 | 2,740 | 2,760 |
|  | $M_{г,пер}$ по (4)              | 3,274  | 3,212  | 3,604  | 3,480                | 1,071                 | 1,10  | 3,569 | 3,604 |
|  | $M_{ш,пер} = M_a + M_{г,пер}$   | 7,377  | 7,259  | 8,142  | 7,946                | 2,740                 | 2,771 | 8,109 | 8,220 |
|  | $M_{ш,крут} = M_a + M_{г,крут}$ | 8,137  | 8,006  | 8,976  | 8,756                | 2,756                 | 2,702 | 8,928 | 9,064 |
|  | $M_{ш1}$                        | 2,361  | 2,410  | 2,499  | 2,477                | 2,389                 | 2,436 | 2,367 | 2,467 |
|  | $M_{ш2}$                        | 3,066  | 3,123  | 3,185  | 3,210                | 3,096                 | 3,158 | 3,068 | 3,198 |
| $(M_{a1} + M_{a2})_{min}$                                    | 5,021                           | 4,998  | 5,359  | 5,325  | 3,270                | 3,317                 | 5,266 | 5,417 |       |
| $M_{ггг}^T$ при $\delta = 1$                                 | 5,021                           | 4,998  | 5,359  | 5,325  | $\frac{2,74}{2,702}$ | $\frac{2,771}{2,739}$ | 5,266 | 5,417 |       |

В табл. I приняты следующие обозначения:  $M_{a1}$  - изгибающий момент, воспринимаемый участками (а-а') сечения I;  $M_{a2}$  - то же для сечения II;  $M_a$  - то же для зигзагообразного сечения III;  $M_{г,пер}$  - изгибающий момент, воспринимаемый участками (б-б') зигзагообразного сечения при их перекосе;  $M_{г,крут}$  - то же при их кручении;  $M_{ш,пер}$  - момент по зигзагообразному сечению III при перекосе пластин б-б';  $M_{ш,крут}$  - то же при их кручении;  $M_{ш1}$  - изгибающий момент, воспринимаемый шейками сечения I;  $M_{ш2}$  - то же для сечения II;

$(M_{2I} + M_{2i})_{\min}$  - наименьшая сумма моментов в поперечном сечении I (либо II);  $M_{\text{ггг}}^I$  - расчетное значение момента г щинообразования при  $\gamma = 1$ .

Примечание: Для плит серии Б-Ш приведен  $M_{\text{ггг}}^I$ : в числителе при перекосе пластин б-б', в знаменателе - при их кручении.

Прочностные и деформативные свойства раствора замоноличивания швов стыков влияют на жесткость и прогибы составных плит, что характеризуется зависимостью между изгибающим моментом  $M$  и углом изгибной податливости стыка  $\varphi$ . Для основных серий эксперимента Б-П и Б-Ш графики зависимости  $M-\varphi$  полигональны, но качественно не одинаковы (рис. 3). Для плит серии Б-П наблюдаются четыре участка деформирования - зона медленного роста деформаций, сравнительно больших деформаций, зона замедления деформаций и их усиленного роста. Точки перехода между отдельными участками соответствуют образованию ювых трещин. Для плит серий Б-Ш, Б-Ш наблюдаются только два участка графика  $M-\varphi$  с одной точкой перехода, соответствующей образованию зигзагообразной трещины по контакту между полуплитами.

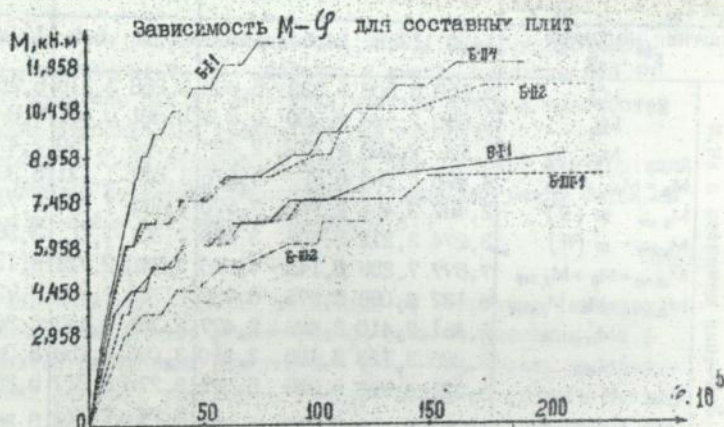


Рис. 3

Плиты испытывали до уровня относительного прогиба  $f_{\text{rel}} = 0,135$  мм/кН; при этом сдвиговая податливость стыка любой плиты не превышала  $U_{\text{max}} = 0,07$  мм, практически ее можно пренебречь.

До уровня изгибающего момента  $M_{\text{ггг}}$  зависимость  $M-\varphi$  для всех плит практически линейна, поэтому все предпосылки расчета по деформациям железобетонных конструкций без трещин можно считать приемлемыми, учитывая изгибную податливость стыка посредством

применения в расчетах начального модуля деформативности  $C_0$ . При этом изгибная жесткость сечения со стыком до трещинообразования:

$$B_{н.о} = B_0 / [1 + B_0 / (a \cdot C_0)] \quad (7)$$

где  $B_0$  - жесткость сечения без стыка;  $a$  - длина участка элемента, где деформации распределены неравномерно, называемая активной зоной стыка. Установлено, что  $a = 400$  мм, то есть превышает длину стыка в 1,75 раза;  $C_0$  - начальный модуль деформативности сечения стыка, определяемый как тангенс угла наклона касательной к кривой  $M - \varphi$ , проходящей через начало координат.

Аналогично можно определить жесткость после образования трещин:

$$B_{н} = B / [1 + 3 / (a \cdot C)] \quad (8)$$

где  $B_{н}$  - жесткость сечения со стыком после образования трещин;  $B$  - то же для аналогичного сечения цельной плиты после образования трещин;  $a$  - то же, что и в (7);  $C$  - модуль деформативности стыка, геометрически определяемый как тангенс угла наклона секущей, проходящей через точку, соответствующую эксплуатационному уровню изгибающего момента.

Для упрощения целесообразно принять зависимость  $M - \varphi$  линейной при  $M \geq M_{ггг}$ , тогда

$$C = C_0 \cdot \frac{(M \cdot M_{ггг})}{M_{ггг}^2 + 14(K - 0,05)(M \cdot M_{ггг} - M_{ггг}^2)} \quad (9)$$

где  $K$  - безразмерный опытный коэффициент, средние значения которого 0,55; 0,45; 1 - для плит серий В-П, В-Ш, В-І, соответственно.

Эпюры прогибов плит серий В-П, В-Ш в стадии монолитной работы имеют сглаженный участок в зоне стыка, что отсутствует на эпюрах плит серий В-І. Это можно объяснить повышенной жесткостью дополнительно армированных шпонок плит серии В-П. По причине необходимости обеспечения плотности и непроницаемости стыков следует ограничить в предельном состоянии их деформации, для этого целесообразно принять величину предельного изгибающего момента, соответствующего сдвиговой податливости не более 0,05 мм ( по данным М. Паммере, К. Лакома, С.М. Крылова и др.), что примерно составляет  $1,2 M_{ггг}$ . Таким образом, имеются предпосылки к расчету составных многослойных плит методом предельного равновесия: первая - малая деформируемость шпонок вследствие их дополнительного армирования, вторая - после достижения изгибающего момента в сечении стыка  $1,2 M_{ггг}$  деформации плиты значительно возрастают, а раскрытие шва почти отсутствует до уровня  $1,2 M_{ггг}$ .

Выявлена характерная особенность плит серии В-Ш, работающих с удлиненной стадии подвижки в растянутой зоне, которую можно уподобить состоянию пластического шарнира стадии IIa при текучести арматуры в статически неопределимых железобетонных конструкциях. Это предположение подтвердили результаты испытания трехпролетных плит серии В-Ш, для которых было характерно наличие подвижки шпонок в растянутой зоне, во время которой опытная нагрузка падала, происходило разрушение и даже высыпание раствора. После подвижки боковые поверхности шпонок упирались друг в друга и начинали активно работать сами шпонки, нагрузка снова возрастала (рис. 4).

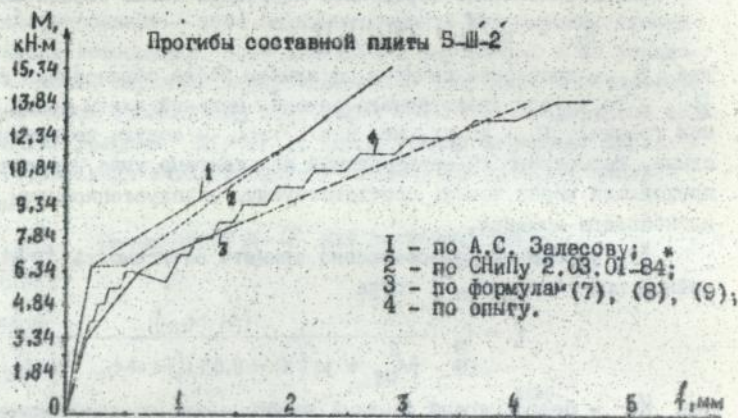


Рис. 4

Активная зона стыка составных плит характеризуется крайне неоднородным напряженно-деформированным состоянием, меняющимся при повышении нагрузки. Контактные деформации бетона по сжатой зоне составных плит, как продольные, так и поперечные, концентрируются по осям шпонок; пиковое возрастание деформаций для всех плит наблюдается по сечениям шеек. При этом при одинаковой нагрузке продольные деформации сжатия верхней грани шпонок в плитах серии В-И больше в 1,3-1,4 раза чем в плитах серии В-П; разрушение плит серии В-И наступало при нагрузке, соответствующей примерно 60% от максимальной нагрузки для плит серии В-П, что объясняется эффективностью работы дополнительно арматуры в шпонках. Особенностью является также и сжатие у внешних граней выступающих шпонок, что можно объяснить проявлением распора, который увеличивается по мере возрастания поперечных деформаций.

Наибольшая величина деформации сжатия бетона шпонок в плитах

серии В-II вдоль продольной оси плиты при максимальной нагрузке не превышала 0,0015, а в плитах серии В-III - 0,00034, что в обоих случаях значительно меньше предельной сжимаемости бетона в изгибаемых элементах  $\epsilon_{\text{бси}} = 0,003-0,005$  (по данным В.М. Вондаренко, Д.И. Суворкина).

Контактные деформации бетона по растянутой грани плит распределяются также неравномерно. Вследствие распора в сечениях шеек наблюдается двухосное растяжение с начала и до конца нагружения. Поперечные деформации бетона плит внутри очертания шпонок являются деформациями сжатия, по приграничным сечениям стыка - деформациями растяжения. Характерно, что приграничные зоны - это зоны двухосного растяжения бетона, объяснить это можно как действием распора, так и характером передачи растягивающих усилий с одной полуплиты на другую. После образования контактных трещин на растянутой грани плиты потоки растягивающих усилий концентрируются в шейках, имея форму веера, повторяя форму шпонки и направление продольно арматуры. Часть усилий вызывает растяжение вдоль оси плиты, часть - поперек. Исходя из полученного характера распределения деформаций в составных плитах, а также воспользовавшись аналогией с задачами Прандтля, Генцва и Лейтеса о действии прерывистых нормальных и касательных усилий на полуплоскость, определено направление траекторий главных напряжений на растянутой грани плит в зоне стыка: волнообразное, повторяющее очертание трещин, в зоне шпонок, - для сжимающих напряжений и пучкообразное расходящимися лучами в зоне шпонок, переходящее в концентрические полукружности в приграничных зонах - для растягивающих напряжений.

По боковым граням шпонок плит серии В-II эпюры продольных деформаций двухзначные с малой высотой сжатой зоны, которая по мере роста нагрузки еще уменьшалась. При этом в соседних сечениях боковых граней, отстоящих всего на 90 мм друг от друга, деформации растяжения значительно друг от друга отличаются, как и высота сжатой зоны, вследствие перекоса растворных прослоек б-б.

Деформации арматурных стержней (растянутых, сжатых, наклонных, поперечных) не превосходили предела упругости. Судя по характеру и величине деформаций арматуры и бетона, во всех однопролетных плитах прочность шпонок не используется в отличие от многопролетных плит, которые проходят два-три уровня пластического деформирования, достигают больших прогибов и соответственно - больших деформаций бетона. Так, плиты серии В-III проявили себя как имеющие в области стыка пластический шарнир с двумя уровнями. Первый уровень соот-

ответствовал подвижке одной полуплиты относительно другой, а второй - соответствовал текучести продольной рабочей арматуры в сечениях шеек шпонок. Нагрузка при втором уровне больше, чем при первом в 1,7-2 раза. Этот резерв прочности можно реализовать в конструкции, если не ограничивать ее прогибы, что можно допустить только при реальном разрушении...

Анализ напряженно-деформированного состояния плит в зоне стыка позволяет рекомендовать в практических расчетах прочность анкерно-шпоночного стыка обеспечивать выполнением следующих условий:

1. Самозакреплением шпонок,  $t_d \alpha \leq \psi$  (10)  
где  $\psi$  - коэффициент трения бетона по раствору.

2. Сопроотивлением шпонок перекосу; при этом длина шпонок:

$$L > 0,635 \frac{N_s}{b \cdot R_m} \cdot \sqrt{\frac{N_s}{b \cdot z_s \cdot R_{bt}}} \quad (11)$$

где  $N_s$  - растягивающие усилия в рабочей арматуре одной шпонки;  $b$  - усредненная ширина шпонки в растянутой зоне;  $R_{bt}$  - расчетная прочность бетона на растяжение;  $z_s$  - расстояние между центрами тяжести арматуры в растянутой и сжатой зонах шпонки.

3. Сопроотивлением шпонок срезу в плоскости действия изгибающего момента; при этом длина шпонок:

$$L \geq \frac{M}{\frac{2}{3} \pi \cdot h^2 \cdot R_m \cdot \left[ 1 + 3\alpha \cdot \alpha_s \cdot \frac{1}{h} \left( \frac{1}{5} + \frac{1}{\epsilon} \right) \right]} \quad (12)$$

где  $M$  - действующий изгибающий момент;  $\pi$  - количество всех шпонок в элементе;  $h$  - высота сечения элемента;  $\alpha$  - коэффициент приведения;  $\alpha_s$  - площадь сечения одного горизонтального стержня;  $S_{s'}$  - шаг горизонтальных стержней в поперечном направлении соответственно в растянутой и сжатой зонах шпонок.

4. Обеспечением анкеровки рабочей арматуры в шпонках  $l \geq l_{ан}$  (13);

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Конструктивные, деформативные и прочностные характеристики анкерно-шпоночных стыков позволяют использовать их при проектировании многопролетных плит в качестве своеобразных пластических шарниров. При этом для ограничения ширины раскрытия трещин рекомендуется для сечения со стыком в качестве предельного назначать величину изгибающего момента  $1,2 M_{плт}$ , что по сравнению с прочностью цельной плиты составляет 20-30% в зависимости от прочности раствора. При проектировании сейсмостойких зданий можно учитывать двухкратное

пластическое состояние сечений плит со стыками наподобие выключающихся связей жесткости.

2. Последовательность образования и характер трещин, а также величина нагрузки, соответствующей появлению первых начальных трещин в составных плитах, зависит от свойства раствора замоноличивания стыков и может быть рассчитана по формулам (1), (2), (3), (4), (5).

Подмерррастворные стыки при кратковременном нагружении дают эффект цельной плиты, а при прочности на сжатие цементно-песчаного раствора от 6,5 МПа до 18 МПа избегающий момент трещинообразования изменяется от 3,3 до 5,5 кН·м, что составляет 5-15%  $M_{ст}$  цельной плиты.

3. Податливость стыков и жесткость составных плит при прочих равных условиях зависят от свойств раствора, от прочности его при сжатии и сдвиге. Прогобы составных плит пролетом 1,8 м изменяются в первой стадии работы при одинаковой нагрузке ( $F = 10 \text{ кН} < F_{ст}$ ) от 0,15 до 0,35 мм при прочности раствора на сжатие 6,5-18 МПа; при этом для цельной плиты прогиб составляет примерно 0,13 мм. В начале второй стадии разница в прогибах составных плит увеличивается от 0,55 до 1,3 мм по сравнению с прогибом цельной плиты 0,45 мм, то есть в 1,2-2,8 раза. Жесткость составных плит можно определить по формулам (7), (8), (9), используя начальный  $C_0$ , либо дилуго-пластический модуль деформативности сечения со стыком  $C$ .

4. Составные плиты по мере нагружения проходят несколько стадий работы, из которых как эксплуатационную рекомендует использовать только первую стадию (без трещин).

5. В зоне чистого изгиба распределение деформаций как по жатой, так и по растянутой грани неравномерно, имеет свои особенности. По сжатой грани плиты, у внешних граней шпонок наблюдается двухосное сжатие, вызванное распором. По растянутой грани плит наблюдается двухосное растяжение около граней выемок, вызванное особенностями веерообразного прерывистого действия растягивающих усилий и распором.

6. Для обеспечения прочности анкерно-шпунцового стыка необходимо выполнять условия самозакрепления шпонок, прочести сопряжения шпонок перекосу и срезу, а также условие анкеровки рабочей арматуры в шпонках, то есть соответственно соблюдать условия (10), (11), (12), (13).

Основные положения работы изложены в следующих публикациях:

1. Майборода В.Ф., Али Джаррал, Мекарова С.С. Подносборные бесшварные стыки плит // Проблемы комплексной застройки Южного берега Крыма: Тез. докл. республ. конференц.: Симферополь, 1988. - С. 168.

2. Майборода В.Ф., Али Джаррал. Сокращение трудоемкости монтажа сборного безбалочного перекрытия // Ресурсосбережение и экология: Тез. докл. научно-практической конференции: - Ижевск, 1990. - С. 99.

Майборода В. Ф.   
 АН УРСР

Подп. к печати 21.09.02г. Формат 60x84 1/16.  
Объём 10 Эказ № 2732 Тираж 150  
Гортипография Одесского облиограф. изд. цех №3.  
Лейна 49.

28 25.742

107000

AB 25.748

27