

**Рис. 3.**  
*Возведение очистных сооружений дождевых сточных вод*

УДК 624.073:666.973.6

*Галкин С.Л.*

### **ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЛИТ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА В СОСТАВЕ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЙ**

Проектирование конструкций, воспринимающих поперечную нагрузку, из ячеистого бетона, имеет ряд особенностей, обусловленных деформационно-прочностными характеристиками этого материала. Ввиду относительно невысокой прочности и повышенной деформативности ячеистого бетона по сравнению с бетонами плотной структуры увеличение процента армирования изгибаемых элементов не позволяет адекватно увеличить их несущую способность и жесткость. Указанный фактор нашел свое отражение в нормах ФРГ [2], согласно которым предельные относительные деформации сжатой зоны ограничены величиной  $0,002$ . В этом случае максимальная полезная нагрузка на плиту из ячеистого бетона с прочностью  $5$  МПа при расчетном пролете  $5,8$  м и толщине  $250$  мм в соответствии с DIN 4223 составит  $3$  кПа при обеспечении нормируемых прогибов. Похожие результаты можно получить, проектируя плиту с аналогичными параметрами по действующим в Республике Беларусь строительным нормам [1].

Указанные обстоятельства накладывают достаточно жесткие ограничения на область применения ячеистобетонных плит перекрытий, в том числе выпускаемых Заводом строительных конструкций "Забудова" (п. Чисть Минской обл.) по технологии фирмы "Hebel" (ФРГ). Однако следует отметить, что сказанное выше справедливо при сопротивлении плит нагрузке при их независимой работе. Результаты исследований [3, 4, 7] свидетельствуют о том, что обеспечение совместной работы плит путем замоноличивания швов и создания условий для возникновения продольного и поперечного распора может существенно повысить несущую способность и жесткость плит в составе диска перекрытия.

В данной статье представлены результаты исследований сопротивления дисков перекрытия и отдельных ячеистобетонных плит (плиты испытывали с различными условиями опирания) вертикальной (поперечной) нагрузке, выполненных под руководством директора БелНИИС, научного руководителя автора статьи, канд. техн. наук А.И. Мордича.

Цель исследований состояла в определении несущей способности, трещиностойкости и жесткости диска перекрытия из ячеистобетонных плит и сравнении полученных результатов с результатами испытаний отдельных плит. Отдельные плиты испытывали по схеме свободного опирания (балочная схема) и с ограничением перемещений торцовых граней.

Диски перекрытия состояли в первом случае из семи, а во втором - из восьми плит (рис. 1), объединенных по периметру монолитным армированным контуром. Швы между плитами, образованные профилями боковых граней, замоноличивали тяжелым бетоном, применявшимся для устройства контура. Характеристики бетона и арматуры, параметры сечений плит, размеры дисков в плане и другие исходные данные представлены в табл. 1, 2. Поперечные сечения плит представлены на рис. 2.

**Таблица 1.**

*Параметры плит перекрытий*

Тип плиты	Длина/пролет $l/l_{eff}$ , мм	Ширина $b$ , мм	Толщина $h$ , мм	Бетон		Арматура							
				$R_c$ , МПа	$E_b$ , МПа	в сжатой зоне			в растянутой зоне				
						$n$	$d$	$R_s$ , МПа	$E_s$ , МПа	$n$	$d$	$R_s$ , МПа	$E_s$ , МПа
1	4180/3970	598	300	7,6	2980	4	6	550	200000	4	8	420	200000
2	4180/4000	599	250	4,8	1720	4	6	450	175000	5	8	450	175000

**Таблица 2.**

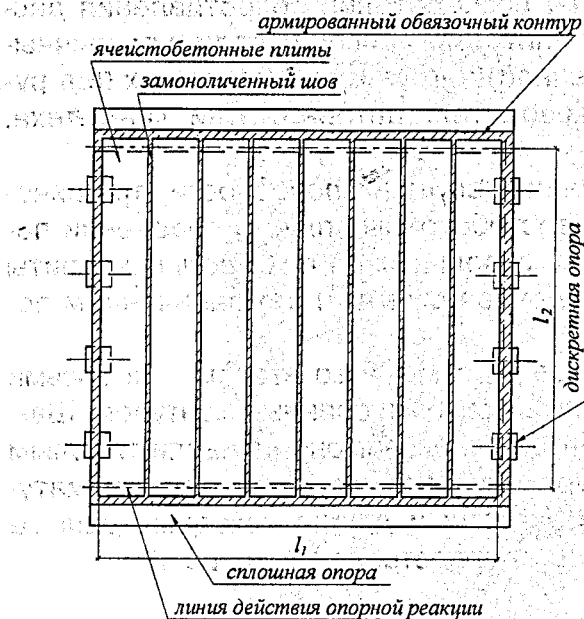
*Конструктивные параметры дисков перекрытий*

№ диска	Основные габаритные размеры диска			Бетон контура		Арматура контура			
	$l_1/l_2$	толщина $h_c$ , мм	ширина сечения монолитного контура $b_c$ , мм	$R_c$ , МПа	$E_b$ , МПа	$n$	$d$	$R_s$ , МПа	$E_s$ , МПа
1	1,04	300	100	20,0	26500	2	8+2 18	420/460	200000
2	1,20	200	100	50,0	40000	2	16	470	184000

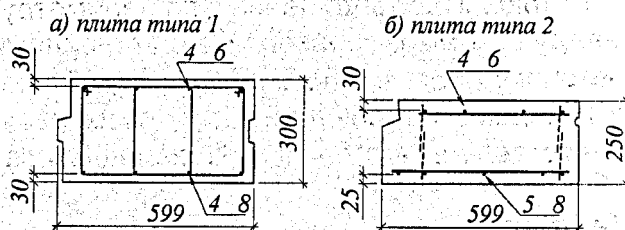
Плиты типа 1 в количестве 2 шт. испытывали по балочной схеме (1 плита) и с упором торцовых граней (1 плита). Усилие распора, возникающего по торцам плит, измеряли кольцевыми динамометрами, расположенными на уровне центра тяжести растянутой арматуры. Плиты типа 2 (2 образца) испытывали только по балочной схеме.

Нагрузку на плиты передавали в четырех точках, равномерно расположенных по длине.

Опирание дисков выполняли следующим образом. Торцовые грани плит были заведены на сплошные жесткие опоры на глубину 150 мм. Опирание плит на опоры выполняли по слою раствора толщиной 15 мм. По верхним граням этих опор впоследствии был устроен монолитный контур. Опоры дисков в перпендикулярном направлении располагали дискретно - по оси продольных элементов обвязочного контура в плоскости приложения сосредоточенных сил.



**Рис. 1.**  
Конструкция сборно-монолитного диска (план)



**Рис. 2.**  
Поперечные сечения плит

В процессе испытаний плит и дисков перекрытий измеряли относительные деформации бетона и арматуры в нормальных сечениях, а также прогибы плит в середине и четвертях пролета. Кроме того, выполняли контроль деформаций бетона и арматуры обвязочного контура.

Отдельные плиты и диск №1 испытывали однократно, доводя конструкции до полного разрушения. Диск №2 испытывали по трем схемам нагружения и опирания. После испытаний диска №2 по 1-й и 2-й схемам его полностью разгружали до стабилизации обратимых деформаций. В процессе испытаний по 3-й схеме диск №2 довели до полного разрушения.

Разрушение плиты типа 1, испытанной по балочной схеме, произошло при величине эквивалентной равномерно распределенной нагрузки  $q_{1.1,u} = 24,3$  кПа из-за текучести растянутой арматуры. Наибольшие относительные деформации бетона сжатой зоны и растянутой арматуры перед разрушением составили соответственно  $\epsilon_c = 55 \cdot 10^{-5}$  и  $\epsilon_s = -200 \cdot 10^{-5}$  (здесь и далее деформации укорочения приняты положительными, деформации удлинения - отрицательными). Прогиб плиты в середине пролета (рис. 3) перед разрушением составил  $f_{1.1u} = 52$  мм, или  $1/76 l_{eff}$  ( $l_{eff}$  - расчетный пролет плиты).

Разрушение плиты типа 1, испытанной с упором торцов [5], произошло при эквивалентной равномерно распределенной нагрузке  $q_{1.2,u} = 43,2$  кПа из-за текучести продольной арматуры и сопровождалось дроблением бетона сжатой зоны. Наибольшие относительные деформации бетона сжатой зоны и растянутой арматуры перед разрушением составили соответственно  $\epsilon_c = 320 \cdot 10^{-5}$  и  $\epsilon_s = -910 \cdot 10^{-5}$ . Характерно, что после достижения относительными деформациями растянутой арматуры величины, соответствующей пределу текучести, плита сохраняла несущую способность за счет работы сжатой зоны бетона. Прогиб плиты (рис. 3) перед разрушением составил  $f_{1.1u} = 49$  мм, или  $1/81 l_{eff}$ .

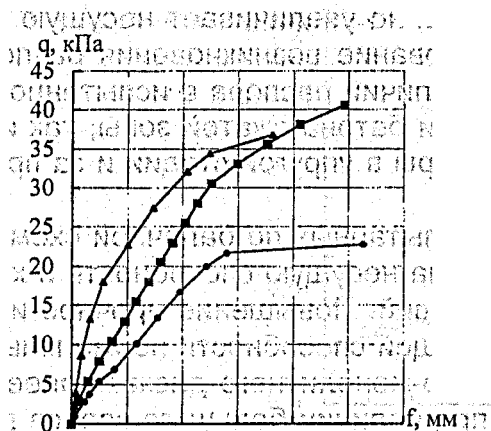


Рис. 3. Прогибы плит типа 1 в середине пролета

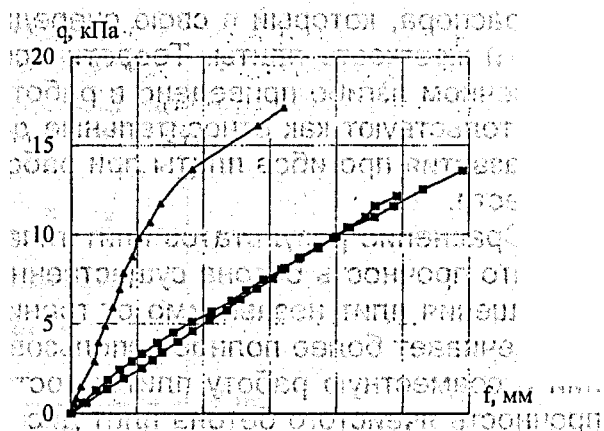


Рис. 4. Прогибы плит типа 2 в середине пролета

Плиты типа 2 разрушились по наклонным сечениям при эквивалентной равномерно распределенной нагрузке  $q_{2,1,u} = 15,0$  кПа и  $q_{2,2,u} = 20,0$  кПа. Наибольшие относительные деформации бетона сжатой зоны и растянутой арматуры перед разрушением составили: в первой плите —  $\epsilon_c = 160 \cdot 10^{-5}$  и  $\epsilon_s = -227 \cdot 10^{-5}$ , во второй плите —  $\epsilon_c = 173 \cdot 10^{-5}$  и  $\epsilon_s = -173 \cdot 10^{-5}$ . В обоих случаях растянутая арматура в нормальном сечении работала в упругой стадии. Прогиб первой плиты (рис. 4) в середине пролета перед разрушением составил  $f_{2,1u} = 29,5$  мм, или  $1/136 l_{eff}$ , второй плиты при нагрузке 12,2 кПа (61% от разрушающей нагрузки) —  $f_{2,2u} = 24,6$  мм, или  $1/163 l_{eff}$ .

Разрушение диска №1 произошло при эквивалентной равномерно распределенной нагрузке  $q_{1d,u} = 38,0$  кПа вследствие разрыва арматуры в углах обвязочного контура. Разрушение диска сопровождалось интенсивным образованием новых и раскрытием образовавшихся ранее трещин в плитах. В крайних плитах образовались также трещины, расположенные под углом 30-60° к продольной оси плит, характерные для сплошных плит при разрушении типа "конверт".

Несмотря на нелинейный характер изменения прогибов средней плиты диска по мере увеличения нагрузки, их резкое нарастание началось при нагрузке 34,9 кПа, при которой в углах обвязочного контура образовались трещины. При этом же уровне нагрузки прогиб средней плиты (рис. 3) был равен  $1/170 l_{eff}$ . Характерно, что при этой величине прогиба началась текучесть арматуры в плите, испытанных отдельно. Характер сопротивления диска №2 прикладываемой нагрузке был во многом аналогичен работе диска №1. При нагрузке 16,1 кПа в обвязочном контуре вблизи углов образовались трещины, имевшие незначительный наклон к вертикали. Следует отметить, что интенсивность нарастания прогибов увеличилась при нагрузке 11,7 кПа.

Разрушение диска №2 произошло при нагрузке  $q_{2d,u} = 18,2$  кПа вследствие исчерпания наклонным сечением несущей способности в одной из средних плит диска. Разрушение средней плиты сопровождалось срезом бетона отдельных средних и обеих крайних плит вблизи замоноличенных швов. Прогиб средней плиты диска (рис. 4) перед разрушением составил  $f_{1,1u} = 16,1$  мм, или  $1/248 l_{eff}$ .

Анализ результатов испытаний плиты типа 1 с упором торцов показал, что ограничение поворота торцовых сечений приводит к возникновению усилий продоль-

ного распора, который в свою очередь существенно увеличивает несущую способность и жесткость плиты. Теоретическое обоснование возникновения распора при поперечном изгибе приведено в работе [6]. О наличии распора в испытанной плите свидетельствуют как относительные деформации бетона сжатой зоны, так и характер развития прогибов плиты при работе арматуры в упругой стадии и за пределом текучести.

Сравнение результатов плит типа 1 и 2, испытанных по балочной схеме, показало, что прочность бетона существенно влияет на несущую способность и характер разрушения плит независимо от граничных условий. Повышение прочности бетона обеспечивает более полное использование несущей способности нормальных сечений и совместную работу плит в составе сборно-монолитного диска. Более низкая прочность ячеистого бетона плит диска № 2 при наличии большого запаса по несущей способности в нормальном сечении явилась причиной разрушения по наклонному сечению средней плиты и швов замоноличивания.

Сравнение характера деформирования плит при различных граничных условиях представлено на рис. 5. Для обобщения результатов всех испытаний сравнение выполнено в относительных показателях. За эталон принимали несущую способность каждой из плит типов 1 и 2, испытанных по схеме свободного опирания, и соответствующие прогибы.

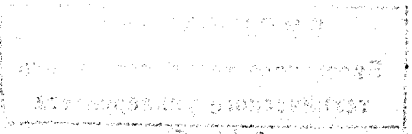
Возникновение продольного распора по торцам при ограничении их поворота уменьшает прогиб на 40 % при увеличении несущей способности плиты на 78 %. Отсутствие пропорциональной зависимости между увеличением прочности и жесткости плит объясняется деформативностью ячеистого бетона и развитием неупругих деформаций.

При совместной работе плит в составе сборно-монолитного диска кроме продольного распора возникает и поперечный распор [4], о котором свидетельствуют трещины в обвязочном контуре, образовавшиеся как на продольных, так и на поперечных гранях диска. Действие распора в двух направлениях позволяет снизить прогибы наиболее деформируемых средних плит диска до 25 % от прогибов отдельных плит, работающих по балочной схеме.

Эффективное действие распора целесообразно учитывать при условии отсутствия трещин в обвязочном контуре. Образование трещин приводит к исчезновению "эффекта обоймы" и развитию процесса разрушения диска. Разрушение диска происходит вследствие истощения плитой несущей способности. Характер потери плитой несущей способности зависит от соотношения прочности нормальных и наклонных сечений.

### **Выводы**

1. Продольный распор в изгибаемых элементах из ячеистого бетона позволяет существенно повысить их несущую способность и жесткость.
2. Распор, возникающий в двух направлениях в сборно-монолитном диске перекрытия за счет сдерживающего влияния обвязочного контура, обеспечивает дополнительное повышение несущей способности и жесткости конструкции.
3. Эффективная работа обвязочного контура ограничивается образованием в нем трещин от внутренних усилий, действующих в плоскости диска. Проектирование контура следует производить из условия обеспечения его трещиностойкости.
4. Учет продольного и поперечного распора при проектировании сборно-монолитных перекрытий с плитами из ячеистого бетона позволяет fuller использовать деформационно-прочностные свойства бетона и рабочей арматуры.



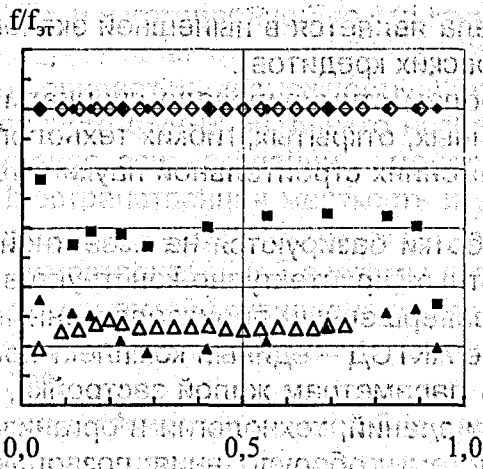


Рис. 5. Сравнение результатов испытаний плит при различных граничных условиях

Сравнение результатов испытаний плит при различных граничных условиях

**ЛИТЕРАТУРА**

1. СНиП 2.03.02-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции.
2. DIN 4223.
3. Айвазов Р.Л., Лапицкий И.В. Сборное перекрытие, опертое по контуру и работающее с поперечным распором // Бетон и железобетон, 1991, №11 - С 7 - 8.
4. Айвазов Р.Л. Сборное панельное перекрытие, опертое по контуру. Теоретические исследования // Пространственная работа железобетонных конструкций. - Сборник №90. - М.: МИСИ, 1970. - С. 77-87.
5. Галкин С.Л. Междуетажные перекрытия из ячеистобетонных плит // Инженерные проблемы современного бетона и железобетона. Конструкции зданий и сооружений. методы расчета. Том 1, часть 1. - Минск, 1997. - С. 84 - 95.
6. Попов Н.Р., Расторгуев Б.С. Динамический расчет железобетонных конструкций. М., Стройиздат, 1974, 207 с.
7. Семченков А.С., Алексеев О.В. Пространственная работа многупустотных плит безопалубочного формования // Бетон и железобетон, 1987, №7 - С. 8 - 10.

Живага Ю.А.

**АКТСД «ВАНТ» -**

**ЖИЛЫЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ ЗДАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

1. Метод, технология, организация проектирования и строительства в рамках АКТСД «ВАНТ»

Идеология нынешнего массового жилищного строительства базируется на следующих принципах: одни - планируют, другие - заказывают и финансируют, третьи - проектируют, четвертые - строят, пятые - эксплуатируют, шестые - контролируют и надзирают и т.д. и т.п. При этом отсутствует главное - хозяин стройки, а инвестиционный цикл растягивается на длительный период. Особенно нетерпимой такая орга-