

Прибор для определения прочности строительных материалов
 1 — опора; 2 — столик с винтом; 3 — упорная рамка; 4 — устройство для сверления; 5 — редуктор; 6 — ручка; 7 — круг; 8 — индикатор; 9 — рукоятка

ловиях или на строительных площадках прибор устанавливают на стол или другое опорное приспособление и закрепляют болтами. Образец, подлежащий испытанию, зажимают между подпружиненным столиком с винтом и упорной рамкой, посаженной на вертикально перемещающееся устройство, и испытывают по описанной выше методике.

При использовании прибора, работающего по методу сверления, исключаются изготовление большого числа образцов из растворных, бетонных смесей и других материалов, отбор проб из швов и стыков

конструкций зданий и сооружений, а также выпиливание кубов из отобранных проб и последующих технологических процессов.

Прибором можно оценивать качество строительных материалов любой прочности не только в наружных слоях, но и на глубине от поверхности. Пользование прибором не требует больших знаний и опыта. Он прост в изготовлении и эксплуатации; небольшие масса и габариты позволяют легко транспортировать его на строительных объектах.

Вышеперечисленные качества способствуют сокращению расхода цемента и других материалов, времени и трудозатрат на испытание строительных материалов, улучшению текущего и конечного контроля их качества в конструкциях зданий и сооружений, ускорению производства строительно-монтажных работ. Это дает значительный экономический эффект.

С конструкцией и чертежами прибора можно ознакомиться в лаборатории производственных испытаний и исследований по адресу: 117192, Москва, Винницкая ул., д. 8. Тел. 143-58-52, 147-42-41.

В помощь проектировщику

УДК 624.073

А. С. ЗАЛЕСОВ, д-р техн. наук (НИИЖБ); В. С. ДОРОФЕЕВ, канд. техн. наук, И. В. ШЕХОВЦОВ, инж. (Одесский инженерно-строительный ин-т)

Прочность и деформативность плит на продавливание

В последнее время уделяется большое внимание изучению местного воздействия нагрузки. Распространение в практике строительства безбалочных перекрытий, кессонных фундаментов, ростверков и т. д. с большой сосредоточенной нагрузкой требует исследования в данной области. Существующая методика расчета, приведенная в действующих нормах на продавливание железобе-

тонных плит без поперечной арматуры, не полностью отражает несущую способность конструкции при $c/h_0 = 1 \dots 3$. Прогиб плит практически не изучали и оценка этого явления в отечественных нормах отсутствует.

С целью усовершенствования методов расчета плит, опирьих по контуру, без поперечной арматуры на продавливание в Одесском инженерно-строительном институте

совместно с НИИЖБом испытали опытные образцы плит, отличающиеся высотой h (10, 15, 20 и 25 см). Размеры плит в плане приняли 900×500 , 900×900 , 900×1300 , что соответствовало $l_1/l_2 = 0,5, 1$ и $1,5$ (см. таблицу). Продавливание производили квадратным штампом размером 300×300 по центру, что гарантирует отсутствие местного смятия бетона под ним. Зaproектированы плиты были таким образом, чтобы разрушение происходило от продавливания. Прочность бетона при сжатии оказалась одинаковой и составляла 24...27 МПа. Все плиты армировали сетками из арматуры класса А-III с шагом 100 мм и $\beta = 1\%$. Толщину и геометрические размеры варьировали независимо по ортогональным осям с пре-

делах $c/h_0=0,5 \dots 3,5$ (рис. 1).

Образцы испытывали на силовой раме с шарнирным опиранием по контуру в гидравлической машине ИПС-1000. Равномерность передачи усилий от опоры обеспечивали распределительные металлические пластины с выравнивающим слоем раствора.

Проволочными тензорезисторами измеряли продольные и поперечные деформации бетона поверхностей плит. Индикаторами часового типа фиксировали перемещения нижней поверхности опытных образцов по центру и по границам штампа.

Для выяснения возможности использования балочной схемы при расчете экспериментальных плит изготовили серию балок. Она состояла из образцов без поперечной арматуры, шириной сечения 10 см, высотой 10, 15, 20 и 25 см, пролетом 40, 80 и 120 см. Прочность бетона и класса продольной арматуры ($\mu=2\%$) приняли одинаковым.

Для исследования процессов образования и развития трещин, образующих пирамиду продавливания, изготовили квадратные плиты ($h=15$ см) с четырьмя и восемью отверстиями. Эти модели плит представляли собой систему из двух и четырех перекрестных балок с обвязкой по контуру (см. рис. 1). По нашему мнению, они могут явиться переходным звеном при совместном исследовании плит и балок. Процент продольного армирования и прочность бетона приняты такими же, как для балок.

Перед началом испытаний во время обработки поверхности специальными составами, содержащими танин, обнаружили технологические трещины [1]. Первые трещины зафиксированы под контуром штампа при нагрузке $(0,2 \dots 0,3) P_u$, что соответствует моменту трещинообразования, подсчитанному по методике ЦНИИЭП жилища [2]. Далее трещины располагались параллельно стержням арматуры в сетке. С ростом внешней нагрузки образовывались диагональные трещины, а на боковых гранях наклонные, направленные к верхним углам граней. Перед разрушением возникли трещины на верхней поверхности плит. За разрушение принимали резкое перемещение штампа. Кинетику образования пирамиды продавливания устанавливали на моделях плит, состоящих из двух пересекающихся ба-

Рис. 1. Экспериментальные образцы плит (а) и моделей плит (б)

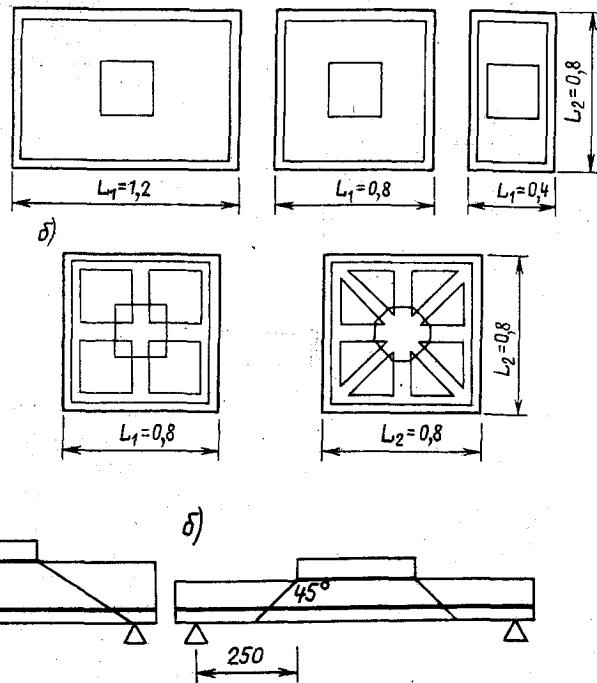


Рис. 2. Угол наклона боковой грани пирамиды продавливания при $c/h_0=2$ (а) и $c/h_0=3,5$ (б)

лок, которые разрушались по наклонной трещине, как и обычные балки. Трещина в верхней части сечения балки была направлена к опоре и штампу. В моделях, состоящих из четырех пересекающихся балок, наклонные трещины появились на осевых балках аналогично, но перед самым разрушением образовывались наклонные трещины на диагональных балках. Анализируя данные результаты, можно заключить, что трещина, формирующая пирамиду продавливания в плитах, начинает развиваться в верхней части сечения на главных осях симметрии и расстает к штампу и опоре. Одновременно трещина развивается к диагоналям плиты, образуя замкнутую наклонную трещину, т. е. фигуру продавливания. Трещины от внешней нагрузки проходят по границам раздела структурных блоков и совпадают с технологическими.

В результате исследований уста-

новлено, что угол наклона грани фигуры продавливания зависит от c/h_0 . По СНиПу предполагается, что угол наклона равен 45° и начинает увеличиваться, когда $c/h_0 < 1$. Но в интервале $1 < c/h_0 < 2 \dots 2,5$ угол наклона боковой грани уменьшается, о чем свидетельствуют результаты экспериментальных исследований: при $c/h_0=1,5$ $\alpha=34^\circ$; при $c/h_0=2-25$; при $c/h_0=3,5-45^\circ$ (рис. 2). Изменение угла наклона существенно влияет на несущую способность плит при продавливании.

При испытании плит различной толщины и геометрических размеров в плане, а следовательно, и с разным c/h_0 , отмечено увеличение несущей способности в интервале $(0,5 \dots 3,5) c/h_0$ результаты исследований предельной несущей способности приближаются к данным, подсчитанным по СНиП 2.03.01-84*. При $(1 \dots 2,5) c/h_0$ происходит недооценка несущей

Ширина плиты, м	l_1 , м	Толщина, м	F^{th} , кН	$F^{СНиП}$, кН	$F^{предл}$, кН
0,5	0,4 ¹	0,10/0,07 ²	600	282	564
0,9	0,8	0,10/0,07	240	202	242
0,9	0,8	0,15/0,12	630	393	525
0,9	0,8	0,20/0,17	1000	623	920
0,9	0,8	0,25/0,22	1500	892	1441
1,3	1,2	0,15/0,12	500	393	525
1,3	1,2	0,20/0,17	960	623	920
1,3	1,2	0,25/0,22	1400	892	1441

Примечания: 1. $l_2=0,8$ м. 2. Перед чертой h , после черты h_0 .

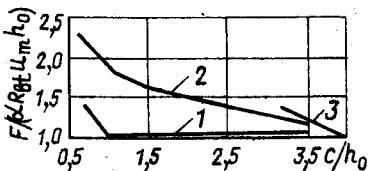


Рис. 3. Относительная несущая способность плит

1 — по СНиП 2.03.01-84*; 2 — по эксперименту; 3 — по изгибающему моменту

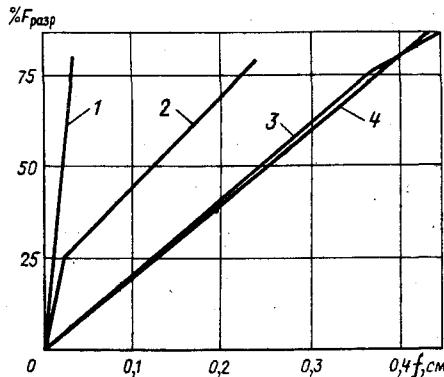


Рис. 4. Прогиб плит при продавливании

1 — по методике расчета упругих изотропных плит; 2 — по методике [2]; 3 — по эксперименту; 4 — по предложению авторов

способности плит на продавливание. Для плит с различным c/h_0 в двух направлениях решающую роль играет меньшее отношение. В образцах со стесненным продавливанием в одном направлении ($c/h_0=0,7$) и свободным ($c/h_0=3,5$) в другом несущая способность увеличилась в 2 раза. Это повышение связано с изменением геометрии пирамиды продавливания, т. е. угла наклона ее грани. В случае стесненного продавливания большое влияние оказывают силы зацепления в наклонной трещине, что с уменьшением c/h_0 до 0 (или увеличением угла до 90°) приведет к чистому срезу бетона.

Из этого следует, что при $c/h_0 < (2,5...3)$ методика СНиПа требует уточнения, при больших значениях c/h_0 она справедлива, но необходимо учитывать возможность разрушения от изгибающего момента (см. рис. 3). При этом продавливающая нагрузка

$$F = F_1 + F_2, \quad (1)$$

где F_1 , F_2 — продавливающая нагрузка по формуле (107) СНиПа и с учетом c/h_0 .

$$\text{Тогда } F = a_1 R_{bt} u_m h_0 + \frac{a_1 R_{bt} u_m h_0^2}{c}, \quad (2)$$

где a_1 — коэффициент, полученный по результатам опытов: $a_1=0,7$.

Предлагаемая зависимость дает хорошее совпадение с опытными данными — $F^{\text{th}}/F_{\text{пред}} = 0,95...1,17$ (см. таблицу).

Анализ результатов исследования деформаций поверхности плит, полученных по проволочным тензорезисторам, показал, что при действии внешней нагрузки на верхней стороне штампа возникают деформации сжатия, а над опорой — растяжения. На нижней поверхности плиты отмечается обратная закономерность. Аналогичная картина распределения деформаций зафиксирована по результатам показаний тензорезисторов, расположенных на диагоналях плит. В плитах с большей высотой h растягивающие напряжения над опорой больше, чем в тонких плитах.

Численные исследования, проведенные в Киевском инженерно-строительном институте, подтверждают также предположение, что в зоне образования трещин продавливания наблюдаются сдвиговые деформации. В ходе экспериментов измеряли перемещения нижней поверхности опытных образцов. Прогибы плит, опертых по контуру, до нагрузки $(0,7...0,8) P_u$ имеют линейный характер, а с увеличением нагрузки — нелинейный. Можно предположить, что при такой нагрузке сформировалась критическая поверхность пирамиды продавливания. С увеличением толщины плит при фиксированных размерах в плане, т. е. с уменьшением c/h_0 прогиб плит уменьшается. При анализе экспериментальных данных авторы столкнулись с проблемой сравнения полученных результатов с существующими методиками. Для толстых плит с таким сочетанием нагрузки в зарубежной и отечественной литературе данных не обнаружено. Поэтому сравнение производили по зависимостям для тонких плит. Теоретические прогибы оказались в 8...10 раз меньше опытных (рис. 4). Сравнение результатов исследований с методикой расчета [2] также дало расхождение в 5...8 раз. Но ввиду того, что последняя методика довольно хорошо зарекомендовала себя на практике, целесообразно предусмотреть в ней переменный коэффициент, отражающий реальную работу плит, опертых по контуру, без поперечной арматуры при $c/h_0=1...3,5$, и косвенно учитывает сдвиговую составляющую.

За основу приняли зависимость расчета прогибов плит, опертых по контуру, при замене продавливающей нагрузки на равномерно рас-

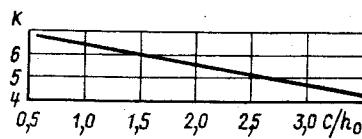


Рис. 5. Зависимость K от c/h_0

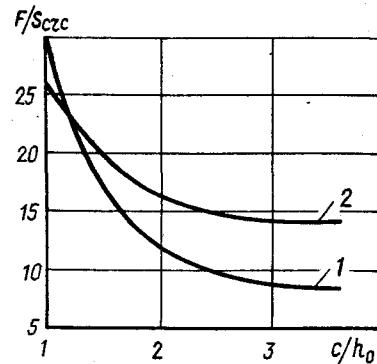


Рис. 6. Относительная несущая способность опытных образцов балок (1) и плит (2) к поверхности разрушения

пределенную [2]

$$f = \frac{\Phi_1 b l^4}{12 E_b I_{\text{red}}} \beta_1 q_1 K, \quad (3)$$

где Φ_1 , β_1 — коэффициенты, которые определяют по рекомендациям [2]; K — коэффициент, зависящий от c/h_0 .

Данная зависимость представлена на рис. 5. Сравнение предложенной усовершенствованной методики дает хорошее совпадение с полученными результатами испытаний плит на продавливание.

Сопоставление балок, моделей плит и плит производили по отношению разрушающей нагрузки к площади поверхности наклонных трещин. Результаты для квадратных плит и балок с $l_1=80$ см приведены на рис. 6. Из рис. 6 следует, что при $c/h_0(1,5...2)...(3,5...4)$ применение балочных зависимостей с учетом поправочного коэффициента на пространственную работу для расчета плит вполне приемлемо, при меньших — нецелесообразно.

Выводы

Принятая методика расчета плит на продавливание недооценивает прочность плит при $c/h_0 < 3,5$. Рекомендуется определять несущую способность плит для $c/h_0 = 0,5...3,5$ по зависимости (2). Угол наклона боковой грани фигуры продавливания меньше 45° при $(1...3)c/h_0$, что приводит к увеличению поверхности пирамиды. Трещина, образующая пирамиду продавливания, имеет объемный характер развития, т. е. развивается к опоре и штампу и одновре-

менно к диагоналям плиты. Предлагаемая методика расчета прогиба плит, опертых по контуру, при продавливании позволяет получать более точные результаты

УДК 624.012.35:620.191.33

Э. Г. ЕЛАГИН, канд. техн. наук (МИСИ)

Расчет по раскрытию трещин при совместном действии изгибающего и крутящего моментов и продольной силы

В СНиП 2.03.01—84 отсутствуют рекомендации по определению ширины раскрытия трещин, возникающих от совместного действия изгиба с кручением. Автором рассмотрен сложный случай комбинированного силового воздействия, когда наряду с изгибающим M и крутящим T моментами к железобетонному элементу сплошного и пустотелого прямоугольного сечения приложена центрально растягивающая или сжимающая продольная сила N .

При действии кратковременных нагрузок по аналогии с оценкой ширины раскрытия трещин пластин [1] вместо σ_s/E_s η , μ , d в формуле (144) норм примем $\varepsilon_{n,i}$; $\eta_{red,j}$; μ_{red} ; $d_{red,j}$ [$\varepsilon_{n,i}$ — средняя деформация элемента в направлении, перпендикулярном к линии трещин; индекс *red* означает приведение характеристик поперечной и продольной арматуры к обобщенным значениям; $j=1, 2, 3$ — точки оценки ширины раскрытия трещин, наклонных к продольной оси элемента (см. рисунок)].

Для нахождения $\varepsilon_{n,i}$ используют положения геометрической теории деформации в точке механики деформируемых сплошных сред. Сумма относительных деформаций по трем ортогональным направлениям инвариантна к ортогональному преобразованию координатной системы, т. е.

$$\varepsilon_{sw,i} + \varepsilon_{sy,i} = \varepsilon_{t,i} + \varepsilon_{n,i},$$

где $\varepsilon_{sw,i}$, $\varepsilon_{sy,i}$ — средняя деформация хомутов и продольной арматуры; $\varepsilon_{t,i}$ — деформация бетона полос между трещинами. В отличие от источника [1] здесь учитывают влияние $\varepsilon_{t,i}$ на a_{crc} , поскольку для рассматриваемого случая деформирования, как показали эксперименты [2, 3], оно оказа-

при $c/h_0 = 0,5 \dots 3,5$ при $K = (7,63 \dots 0,9)(c/h_0)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Соломатов В. И., Выровой В. Н., Залесов А. С., Дорофеев В. С. Технологическая поврежденность компо-

зионных строительных материалов и конструкций // Транспортное строительство. — 1990. — № 7. — С. 39—40.

- Рекомендации по расчету плит перекрытий крупнопанельных зданий с учетом пространственной работы. — М.: ЦНИИЭП жилища, 1983. — 95 с.

лось существенным. Также в отличие от источника [1] учтем сосредоточенное расположение продольных арматурных стержней. Значения $\varepsilon_{sy,i}$ и $\varepsilon_{sw,i}$ можно выразить через внешние усилия M , T и N на основании положений [4], $\varepsilon_{t,i}$ принять по [1].

В результате получили зависимости для нахождения ширины раскрытия трещин

$$a_{crc} = \varepsilon_{n,j} \delta \eta_{red,j} 20 \times \\ \times (3,5 - 100 \mu_{red,j})^3 \sqrt{d_{red,j}},$$

где

$$\begin{aligned} \varepsilon_{n,1,3} &= M(n_5 z - n_8) + T(n_6 + \\ &+ n_5 n_3 z) + N[n_5 z(z - 0,5 h_1) - n_7]; \\ \varepsilon_{n2} &= M[n_5(z - 0,5 h_1) - n_1,05 h_1] + \\ &+ T[n_5 n_3(z - 0,5 h_1) + (n_1 n_4 - n_2) \times \\ &\times 0,5 h_1 + n_9] + N[n_5(z - 0,5 h_1)^2 + n_1 \times \\ &\times 0,5 h_1^2 - n_{10}]; \end{aligned}$$

$$\frac{\cos^2 \alpha_3 + \sin^2 \alpha_3}{E_{bn}} + \frac{\cos^2 \alpha_2 + \sin^2 \alpha_2}{E_{bt}}$$

$$n_1 = \frac{A'_b z^2}{A'_b z^2};$$

$$\begin{aligned} n_2 &= \left(\frac{1}{E_{bn}} - \frac{1}{E_{bt}} \right) \frac{\sin \alpha_3 \cos \alpha_3}{W_{pbz}}; \\ n_3 &= \frac{\tg \alpha_1}{2b_1 h_1} \left\{ \frac{h_1}{6} \left(b_1 + \frac{h_1}{6} \right) + \right. \\ &+ \left(\frac{5}{6} h_1 - x_1 \right) \times \left[b_1 + \frac{h_1}{3} + \right. \\ &\left. \left. + \left(\frac{5}{6} h_1 - x_1 \right) \frac{\tg \alpha_2}{\tg \alpha_1} \right] \right\}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_4 &= \frac{\tg \alpha_1}{2b_1 h_1} \left[\frac{b_1 x}{2} + \frac{h_1}{3} \left(\frac{h_1}{12} + \frac{x}{2} \right) + \right. \\ &+ \left. \frac{\tg \alpha_2}{\tg \alpha_1} \left(\frac{5}{6} h_1 - x_1 \right) \left(\frac{h_1}{2} + \frac{2h_1}{3} \right) \right]; \end{aligned}$$

$$n_5 = \frac{\psi_s}{E_s (A_{s,red} z^2 + k_{sw} z)};$$

$$n_6 = \frac{\left(\frac{h_1}{3} + b_1 \right) \psi_{sw} 10,4}{A} +$$

$$+ \frac{1,6 \sin \alpha_1 \cos \alpha_1}{v_{crc} E_b W_{pl,t}};$$

$$A = b_1 h_1 E_{sw} [f_{sw} \left(\frac{h_1}{3} + b_1 \right) \tg \alpha_1 + k_{sw}];$$

$$n_7 = \frac{\sin^2 \alpha_3}{E_b A_{red}}; n_8 = \frac{0,5 h_1 \sin^2 \alpha_1}{I_{red} E_b};$$

$$n_9 = \frac{\Psi_{sw,2} 0,75}{b_1 h_1 E_{sw} f_{sw} \tg \alpha_2} + \frac{3 \sin \alpha_2 \cos \alpha_2}{v_{crc,2} E_b W_{pl,t}};$$

$$n_{10} = \frac{\sin^2 \alpha_2}{E_b A_{red}};$$

$\delta = 1, 2$; α_i — угол наклона трещин к плоскости поперечного сечения элемента; E'_{bn} , E'_{bt} — модули деформаций бетона сжатой зоны перпендикулярно и вдоль оси ортотропии; W_{pbz} — пластический момент сопротивления при кручении; k_s , k_{sw} — составляющие, учитывающие действие касательных усилий в стержнях продольной и поперечной арматуры в трещине; A'_b — приведенная площадь сжатой зоны бетона в плоскости поперечного сечения элемента; $x_1 = x - \frac{h-h_1}{2}$; Ψ_s ,

$\psi_{sw,i}$ — коэффициенты, учитывающие работу растянутого бетона на участках с трещинами для растянутой от изгиба продольной арматуры и хомутов; $v_{crc,i}$ — отношение модуля деформаций сжатого бетона на участках между наклонными к продольной оси трещинами к начальному модулю упругости бетона;

$$A_{s,red} = \frac{h_s}{h_1}; f_{sw} = \frac{A_{sw}(b_{sw} + h_{sw})}{S(b_1 + h_1)};$$

$$f_{s,max} = \frac{1,5 A_{s,red}}{h_1 + b_1};$$

индексы sw и s относятся к поперечной и продольной арматуре;

$$f_{s,red} = f_{sw} \sin^2 \alpha_j + f_{s,max} \cos^2 \alpha_j \beta_j;$$

$$\mu_{red,j} = \frac{2f_{s,red}}{b - b_2} \leq 0,02;$$

$$\eta_{red,j} = \frac{\eta_{sw} f_{sw} \sin^2 \alpha_j}{f_{s,red,j}} + \frac{\eta_{sf_{s,max}} \cos^2 \alpha_j \beta_j}{f_{s,red,j}};$$

$$d_{red,j} = \frac{d_{sw} f_{sw} \sin^2 \alpha_j}{f_{s,red,j}} + \frac{d_{sf_{s,max}} \cos^2 \alpha_j \beta_j}{f_{s,red,j}};$$

β_j — коэффициент, учитывающий со средоточенное расположение стержней продольной арматуры; $\beta_{13} = 0,25$; $\beta_2 = -1$; α_i — угол наклона трещины к плоскости поперечного сечения элемента:

$$\tg 2\alpha_i = \frac{6\pi}{\sigma_{by,i} - \sigma_{bx,i}};$$