

Рис. 1. Зависимость $t_s/d(t_p/d)$ от $\lg Q$ при $v_0 \leq 75$ м/с
 ○ — нет откола; Δ — откол; \square — пробивание

$d_{\text{зап}}$ — наибольшая крупность заполнителя. На основе анализа размерностей получили зависимость между безразмерными величинами

$$\frac{t}{d} = f(Q, \mu, \frac{d_{\text{зап}}}{d}), \quad (2)$$

где $Q = \frac{R d^3}{M s v_0^2}$.

В результате анализа литературных источников установлено, что при $\mu \leq 0,03$, оно не влияет существенно на t_s и может быть опущено (в запас прочности) при определении t_p . Влияние крупности заполнителя на t_s и t_p для обычного бетона пропорционально ($d_{\text{зап}}/d$)^{0,1}, т. е. ими тоже можно пренебречь.

В соответствии с выявленными особенностями поведения конструкций рас-

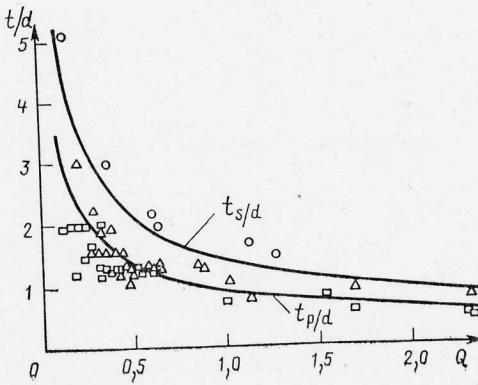


Рис. 2. Зависимости t_s/d и t_p/d от Q при $75 < v_0 \leq 150$ м/с
 Условные обозначения см. рис. 1

четные формулы получили для малых ($v_0 \leq 75$ м/с) и средних ($75 < v_0 \leq 150$ м/с) скоростей. При этом для первого диапазона определяли только пороговую толщину откола t_s , а для второго t_s , t_p . Экспериментальные данные и теоретические кривые приведены на рис. 1 и 2.

На основе регрессионного анализа установили зависимости, которые наилучшим образом согласуются с опытными данными:

для первого диапазона

$$\frac{t_s}{d} \approx \frac{t_p}{d} = 2,019 Q^{-0.3439}; \quad (3)$$

для второго диапазона

$$\left. \begin{aligned} \frac{t_s}{d} &= 1,429 Q^{-0.5673}, \\ \frac{t_p}{d} &= 0,943 Q^{-0.553} \end{aligned} \right\} \quad (3')$$

Эмпирические данные, положенные в основу формул (3), (3'), получены в основном для жестких цилиндрических ударников с плоской носовой частью. Влияние формы носовой части ударника можно учитывать по аналогии с формулами NDRC [3] введением коэффициента N , принимая для плоской носовой части $N=1$, для тупой $N=1,08$, для сферической $N=1,18$ и для острой $V=1,26$. С учетом изложенного формулы (3), (3') примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{t_s}{d} &\approx \frac{t_p}{d} = 2,019 N Q^{-0.3439}, \\ \frac{t_s}{d} &= 1,429 N Q^{-0.5673}, \\ \frac{t_p}{d} &= 0,943 N Q^{-0.553} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Выводы

На основе анализа литературных источников и собственных исследований предложены расчетные формулы для пороговых толщин откола и пробивания железобетонных плит при низких скоростях удара ($v_0 < 150$ м/с), характерных для аварийных воздействий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Забегаев А. В. К определению аварийных ударных нагрузок на строительные конструкции // Строительная механика и расчет сооружений. — 1988. — № 1. — С. 5—9.
- Sliter G. E. Assessment of Empirical Concrete Impact Formulae // Journal of Structural Division, ASCE. — V. 166. — 1980. — N 5. — P. 1023—1045.
- Mills C. A. The design of concrete structures to resist explosion and weapon effects // FIP Notes. — 1988. — N 2. — P. 11—15.

УДК 624.073

А. С. ЗАЛЕСОВ, д-р техн. наук (НИИЖ);
 К. Е. ЕРМУХАНОВ, канд. техн. наук, И. А. МОМБЕКОВ, инж.
 (Джамбулский гидромелиоративно-строительный ин-т)

Прочность плит с поперечной арматурой на продавливание

Существующая методика расчета плит с поперечной арматурой на продавливание по СНиП 2.01.03—84 является приближенной, поскольку основана на весьма ограниченном числе экспериментов. В основном опыты выполняли для плит с хомутами из арматуры класса А-1 в узком диапазоне изменения $\mu_{\text{шв}}$.

Поэтому для усовершенствования методов расчета Джамбулский гидромелиоративно-строительный институт совместно

с НИИЖБом исследовали сплошные плиты с поперечной арматурой на действие концентрированной нагрузки. При этом испытывали три группы опытных образцов, отличающихся полезной высотой ($h_0 = 10, 15, 20$ см). Каждая группа состояла из нескольких подгрупп, отличающихся процентом поперечного армирования ($\mu_{\text{шв}} = 0..2\%$). Его варьировали изменением шага и диаметра хомутов. В качестве хомутов приняли арматуру класса А-III диаметром 6,8 и 10 мм. Поперечную арматуру устанавливали равномерно по всей площади и с постоянным шагом в обоих направлениях. Количество и диаметр продольной арматуры у образцов одной группы считали одинаковым, чтобы не исказить сопоставимость результатов экспериментов с точки зрения влияния поперечной арматуры. Количество продольной арматуры принимали из условия $F_{\text{изг}} < F_{\text{пр}}$.

са А-III диаметром 6,8 и 10 мм. Поперечную арматуру устанавливали равномерно по всей площади и с постоянным шагом в обоих направлениях. Количество и диаметр продольной арматуры у образцов одной группы считали одинаковым, чтобы не исказить сопоставимость результатов экспериментов с точки зрения влияния поперечной арматуры. Количество продольной арматуры принимали из условия $F_{\text{изг}} < F_{\text{пр}}$.

Относительный пролет среза a/h_0 во всех образцах одинаковый (2,5). Эксперименты осуществляли в силовой раме с шарнирным опиранием по контуру. В результате установлено, что все опытные образцы разрушились от продавливания. При средних и малых μ_{sw} оно произошло по замкнутой наклонной трещине по традиционной схеме вследствие текучести поперечной арматуры (рис. 1). При больших μ_{sw} образцы разрушились от сжатия бетона между замкнутыми наклонными трещинами без текучести поперечной арматуры, подобно разрушению стенок балок (см. рис. 1). Сопротивление хомутов из стали класса А-III полностью использовалось, поскольку напряжения в хомутах, пересекающих критическую наклонную трещину, перед разрушением достигали предела текучести. Траектория критических наклонных трещин зависела от количества поперечной арматуры. С возрастанием μ_{sw} увеличивался угол наклона критических наклонных трещин. Об этом свидетельствовали наличие трещин на растянутой грани плиты и характер развития внутренних трещин, полученный из анализа деформаций поперечной арматуры (см. рис. 1). Разрушающая нагрузка с увеличением μ_{sw} возрастила и иногда значительно превышала несущую способность плит без поперечной арматуры. В данном случае она равна $3,6 F_b$. При этом несущая способность плиты на продавливание возрастила по зависимости, близкой к криволинейной (рис. 2).

Отношение F_{op}/F_{CHNP} составило 1,04...2,39, т. е. расчет по существующей методике дал значительное отклонение в сторону запаса. Оно связано с тем, что принятая методика не в полной мере использует сопротивления хомутов из арматуры, отличной от стали класса А-I. Кроме того, установление верхнего предела прочности $2F_b$ не подтверждено экспериментально-теоретическими исследованиями.

Для совершенствования методов расчета норм предложено производить расчет на продавливание по замкнутой наклонной трещине при текучести поперечной арматуры и расчет на продавливание по бетону, заключенному между замкнутыми наклонными трещинами, без текучести поперечной арматуры.

Для расчета на продавливание по наклонной трещине разработана расчетная схема (рис. 3) и методика, учитывающая переменность длины проекций замкнутых наклонных трещин, подобно расчету линейных изгибаемых элементов (балок) по поперечной силе. С увеличением μ_{sw} изменяется положение критических наклонных трещин, причем это сопровождается увеличением угла на-

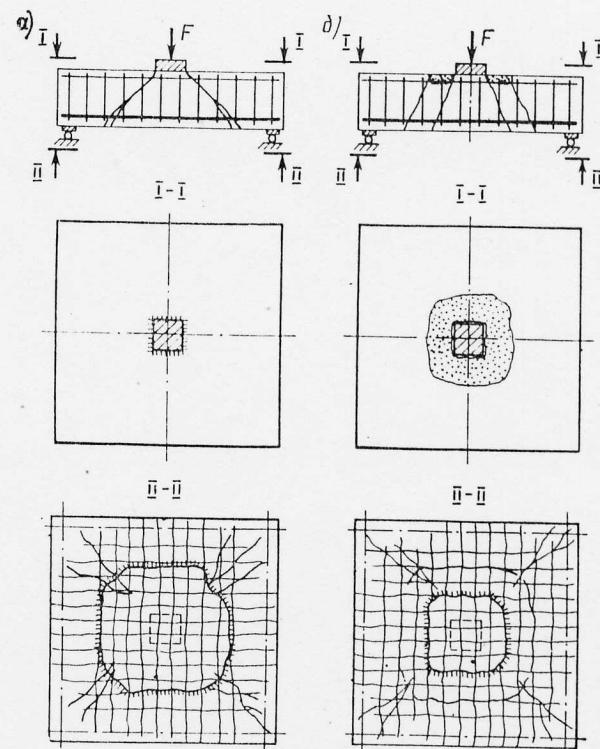


Рис. 1. Схема разрушения опытных образцов
а — по замкнутой наклонной трещине; б — по бетону между замкнутыми наклонными трещинами

клина трещин $>45^\circ$. В результате доля усилий, воспринимаемых хомутами, уменьшается, а по бетону увеличивается и, следовательно, можно считать, что продавливание бетона происходит в условиях, близких к стесненным. Учиты-

вая это обстоятельство, формула для оценки прочности плит с поперечной арматурой на продавливание

$$F = \alpha R_{bt} u_m h_0 \left(\frac{h_0}{c} \right) + 4c(b_{op} + c) q_{sw}, \quad (1)$$

где $\alpha R_{bt} h_0 \left(\frac{h_0}{c} \right)$ — прочность бетона при стесненном продавливании по СНиП 2.01.03-84; u_m принимают как в свободном продавливании; $4c(b_{op} + c)$ — площадь горизонтальной проекции боковых граней расчетной пирамиды продавливания; q_{sw} — усилие в хомутах на единицу площади элемента;

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} f_{sw}}{s^2};$$

s — длина проекции опасной наклонной трещины на продольную ось элемента:

$$c^3 + 0,5 b_{op} c^2 - \frac{\alpha R_{bt} u_m h_0^2}{8q_{sw}} = 0.$$

В целях упрощения предложено рассмотреть плиту как систему крестообразных балок шириной $b_{op} + h_0$ (см. рис. 3), полученную с учетом того, что поверхность отрыва распространяется под углом 45° для плит без хомутов. Тогда по аналогии с балками с поперечной арматурой

$$c = \sqrt{\frac{\Phi_{b2} R_{bt} h_0^3}{q_{sw}}},$$

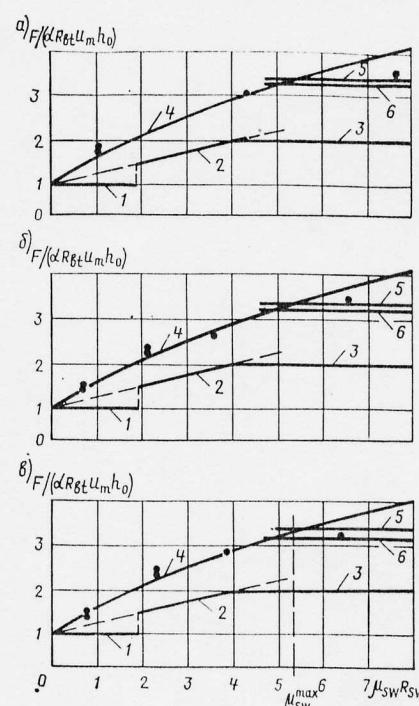


Рис. 2. Изменение относительной величины предельной продавливающей нагрузки
а — $h_0=10$; б — $h_0=15$; в — $h_0=20$ см; 1..3 — расчет по СНиП 2.03.01-84; 4..6 — по предлагаемой методике

$\varphi_{\text{в2}}$ — коэффициент, зависящий от вида бетона: $\varphi_{\text{в2}}=1$ для тяжелого бетона.

В расчете принимали $c_{\max} \leq h_0$, поскольку для плит без поперечной арматуры угол наклона боковых граней 45° .

Сравнение результатов расчета по данной методике с результатами опытов показало их удовлетворительное совпадение — $F^{\text{оп}}/F^{\text{предл.}}=0,93 \dots 1,15$.

Для расчета на продавливание по бетону между замкнутыми наклонными трещинами предложена методика расчета, суть которой в том, что плиту рассматривают как крестообразную балку с поперечной арматурой шириной $b_{\text{оп}}+h_0$ (см. рис. 3). При этом расчет на продавливание по бетону между замкнутыми наклонными трещинами можно производить по аналогии с расчетом балок на действие поперечной силы по наклон-

ной полосе между наклонными трещинами.

Принимая во внимание, что необходимо найти внешнюю продавливающую силу, соответствующую несущей способности четырех балок, условие прочности для плит

$$F \leq 0,3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b 4(b_{\text{оп}} + h_0)h_0. \quad (2)$$

Учитывая, что $4(b_{\text{оп}} + h_0) = u_m$,

$$F \leq 0,3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b u_m h_0, \quad (3)$$

где φ_{w1} , φ_{b1} — коэффициенты, определяемые по формулам (73), (74) СНиП 2.03.01—84.

При подсчете φ_{w1} в расчет принимают число хомутов в одном ряду по ширине $b_{\text{оп}}+h_0$, $\varphi_{w1} \leq 1,4$.

Результаты расчета по предложенной методике удовлетворительно согласуют-

ся с опытными данными — $F^{\text{оп}}/F^{\text{предл.}}=0,92 \dots 1,11$.

Предлагается также методика расчета, основанная на физической модели разрушения. Результатами экспериментов установлено, что вблизи штампа образуется система призматических элементов (оболочек), ограниченных двумя замкнутыми наклонными трещинами (см. рис. 1), по толщине которых концентрируется поток сжимающих напряжений. При этом вторая трещина проходит на расстоянии $h_0/2$ от грузовой площадки. Очевидно, разрушение наступает в результате достижения бетоном R_b в призматических элементах (см. рис. 3).

Положение элементов (угол наклона) определяют в зависимости от интенсивности q_{sw} .

Расчетную толщину t принятых элементов подсчитывают по формуле

$$t = \frac{h_0}{2} \sin \beta. \quad (4)$$

где β — угол наклона критических наклонных трещин.

Сопротивление расчетных элементов сжатию у грузовой площадки, т. е. в наиболее опасном сечении.

$$F = A R_b \sin \beta, \quad (5)$$

где A — площадь поперечных сечений призматических элементов у грузовой площадки:

$$A = [2b_{\text{оп}} + h_0(1 + \cos \beta)] h_0 \sin \beta.$$

После некоторых преобразований

$$F = k R_b u_m h_0, \quad (6)$$

где

$$k = \frac{1}{4} \left[\frac{2b_{\text{оп}} + h_0(1 + \cos^2 \beta)}{b_{\text{оп}} + h_0} \right] \sin^2 \beta.$$

При сравнении результатов расчета и опытов $F^{\text{оп}}/F^{\text{предл.}}=1,02 \dots 1,15$, т. е. отмечается удовлетворительное совпадение.

Одним из достоинств предложенных методик является использование в расчетах только одной наиболее стабильной характеристики бетона R_b .

Выводы

Принятая в нормах методика расчета прочности плит с поперечной арматурой значительно недооценивает прочность плит с поперечной арматурой, обладающими более высокими физико-механическими характеристиками, чем арматура класса А-I.

Результаты опытов выявили две различные по характеру формы разрушения по мере возрастания μ_{sw} .

Предлагаемые методики расчета, учитывающие формы разрушения, более полно отражают действительную работу плит с поперечной арматурой на продавливание и позволяют получать более точные результаты.

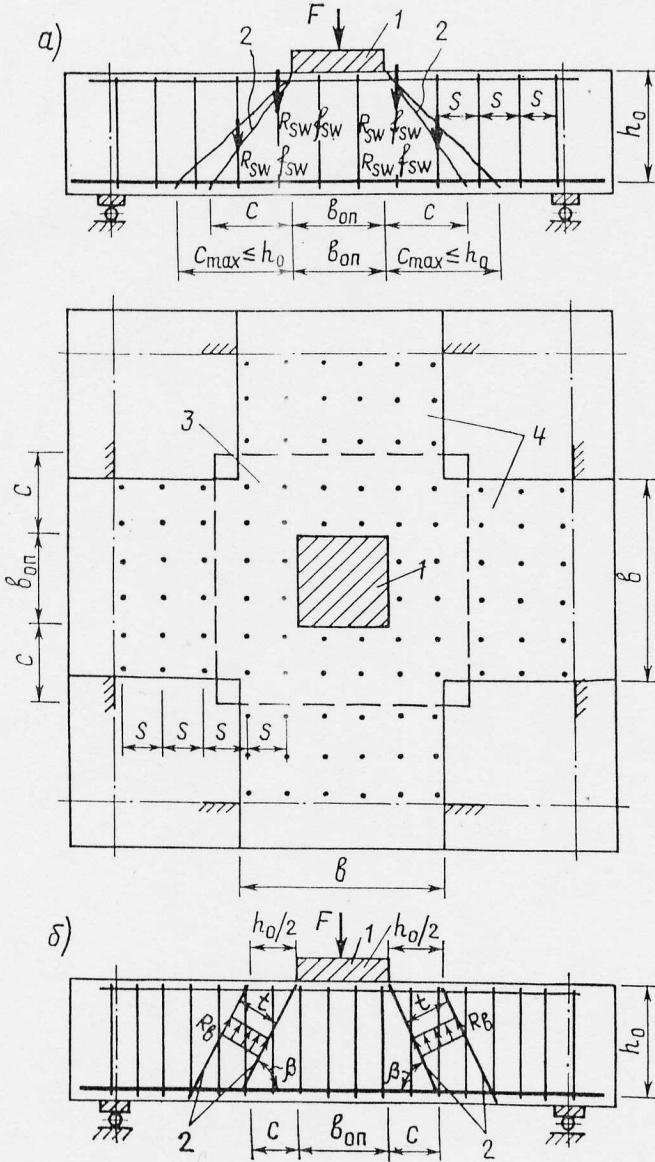


Рис. 3. Схема расчета по предлагаемым методикам

а — по наклонной трещине; б — по бетону между наклонными трещинами; 1 — грузовая площадка; 2 — критические наклонные трещины; 3 — проекция поверхности отрыва на продольную ось; 4 — крестообразная балка