

Николай Александрович РАК, кандидат технических наук,
доцент,
профессор кафедры "Железобетонные и каменные конструкции"
Белорусского национального технического университета

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХСЛОЙНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ МЕСТНОМ СЖАТИИ

CALCULATION OF CARRYING CAPACITY FOR TWO-LAYER CONCRETE ELEMENTS OF LOCAL COMPRESSION

Предложена методика расчета несущей способности на местное сжатие бетонных и железобетонных элементов, изготовленных с продольными слоями из бетонов различной структуры и прочности. Приведены зависимости для расчета несущей способности таких элементов для различных случаев взаимного расположения слоев бетона и площадок приложения нагрузки. Приведены зависимости для расчета несущей способности таких элементов при их косвенном армировании поперечными сварными сетками и спиральным армированием, а также при наличии пластин закладных изделий и соединительных элементов. Выполнено сопоставление значений несущей способности, рассчитанных по предложенной методике, с экспериментально полученными значениями.

The calculation technique of carrying capacity for partially loaded areas of reinforced concrete elements fabricated with longitudinal layers of concrete with different structures and strength were proposed. The dependences for calculation of the bearing capacity of such elements for various cases of mutual arrangement of the layers of concrete and the loading areas were proposed. The dependences for calculation of the bearing capacity of these elements with transverse reinforcement welded wire mesh and spiral reinforcement, as well as the presence of plates of inserts and fasteners were proposed. The comparison of the values of the bearing capacity calculated by the proposed method and the experimental values were executed.

ВВЕДЕНИЕ И ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одними из наиболее ответственных элементов в системе каркаса здания и сооружения являются узлы сопряжения сборных железобетонных элементов. В прилегающих к узлам опорных частях элементов действуют значительные по величине нагрузки, приложенные по небольшим площадкам. С учетом ответственности узла сопряжения в опорных частях сопрягаемых железобетонных конструкций, как правило, предусматривают закладные изделия, содержащие пластины и анкерные стержни. Кроме того, во избежание образования и раскрытия продольных трещин при передаче усилий обжатия на опорном участке, как правило, устанавливают поперечную и косвенную арматуру.

Следует отметить, что вопросы расчета прочности бетона и железобетона при местном сжатии являлись предметом большого количества экспериментальных исследований бетонных элементов и элементов, усиленных косвенным армированием. Существующие методики расчета на местное сжатие позволяют учитывать физико-механические свойства бетона, расположение площадки местного сжатия и характер распределения по ней нагрузки, степень косвенного армирования. Однако эти методики предназначены для расчета конструкций, изготовленных одностадийно, то есть когда по объему нагружаемого участка рассчитываемой конструкции располагается бетон одного вида и прочности.

В то же время в ряде случаев изготовление конструкций необходимо по технологическим и конструктивным требованиям выполнять в несколько этапов (стадий) бетонирования. Вследствие этого в пределах нагружаемого участка рассчитываемой конструкции располагаются бетоны разной структуры и прочности. Примером такой конструкции являются центрифугированные колонны различной формы сечения, в которых для обеспечения надежного опирания на них стропильных конструкций

необходимо выполнить внутреннее утолщение сечения колонны.

Наиболее известен способ создания утолщения, когда оно формируется непосредственно в процессе центрифугирования с подачей дополнительной порции бетонной смеси через отверстие в торцевой крышке формы. При этом наружная граница внешнего центрифугированного слоя бетона может иметь различные внешние очертания (круглое, квадратное, прямоугольное), но внутренняя граница утолщения всегда очерчена по окружности. После этого колонна подвергается тепловой обработке по стандартному режиму. По окончании тепловой обработки остающееся отверстие в оголовке заделывается бетоном (внутренний слой).

При другом способе создания утолщения оголовка сначала по традиционной технологии формируется имеющий постоянное сечение по длине ствол колонны (наружный слой оголовка) без подачи дополнительной порции бетона в процессе центрифугирования. По окончании формирования наружного слоя при помощи растворонасоса во внутреннюю полость оголовка под давлением подается мелкозернистый бетон до полного заполнения полости. После этого колонна подвергается тепловой обработке по стандартному режиму.

Центрифугированный бетон внешнего слоя оголовка имеет прочность на сжатие, соответствующую классам бетона $C^{40}/_{50}-C^{50}/_{60}$, а бетон замоноличивания и мелкозернистый бетон заполнения имеют прочность на сжатие, соответствующую классам бетона $C^{12}/_{15}-C^{16}/_{20}$.

Передача нагрузки от стальных или железобетонных конструкций покрытия на оголовки колонны происходит по площадкам, строго привязанным к разбивочным осям здания. В результате может быть несколько вариантов расположения площадок опирания относительно образованных при изготовлении слоев бетона (рис. 1).

Впервые экспериментальные исследования опытных образцов узлов опирания стальных стропильных кон-

струкций на оголовки крайних и средних центрифугированных колонн кольцевого и квадратного полого сечений были проведены автором в 1986–1987 гг. [1]. Испытания восьми опытных образцов (по два образца средних и крайних колонн кольцевого и квадратного полого сечений) показали, что во всех образцах сначала происходило образование вертикальных трещин в зоне расположения стальных штампов. Дальнейший характер образования и развития трещин в опытных образцах, а также характер разрушения образцов определялись взаимным расположением штампов по отношению к слоям бетона оголовка. При расположении штампа на внутреннем слое бетона происходил сдвиг этого слоя относительно наружного слоя и раскалывание последнего. В случае расположения штампов только на бетоне наружного слоя оголовка разрушение происходило от местного сжатия бетона под штампами.

В продолжение исследований [1] в 1989–1991 гг. в Белорусском политехническом институте аспирантом Т. И. Лассо при участии и консультировании автора были выполнены экспериментальные исследования прочности оголовков центрифугированных колонн [2]. Были изготовлены и испытаны 24 опытных образца оголовков колонн (четыре серии, в каждой по шесть образцов). Все образцы имели длину 800 мм при длине зоны утолщения 400 мм. Серии образцов различались формой и размерами поперечного сечения, количеством и расположением штампов, размеры которых соответствовали размерам опорного ребра стальной стропильной конструкции. В пределах каждой серии образцы различались толщиной наружного центрифугированного слоя оголовка. Из 24 образцов только шесть разрушились в

зоне перехода от утолщения к основному сечению, а остальные образцы разрушились от местного сжатия бетона под штампами.

Следует отметить, что в действовавших в то время нормах проектирования [3] был рассмотрен только случай расчета на местное сжатие элементов, полностью выполненных из бетона, одинакового по структуре и прочности. Однако на основе анализа результатов испытаний [1, 2] было предложено использовать методику расчета норм [3] и в случае расположения в пределах площади приложения местной сжимающей нагрузки двух бетонов, различающихся структурой и прочностью. Для этого в формулы норм [3], предназначенные для определения приведенной прочности бетона при местном смятии $R_{b,loc}$, вместо призменной прочности бетона R_b было рекомендовано подставлять усредненную по площади смятия A_{loc1} призменную прочность бетона $R_{b,m}$, определяемую по формуле

$$R_{b,m} = (R_{b1} \cdot A_{loc11} + R_{b2} \cdot A_{loc12}) / A_{loc1}$$

где R_{bi} , A_{loc1i} — соответственно призменная прочность и площадь смятия i -го бетона.

При определении коэффициента φ_b , учитывающего влияние бетонной обоймы на повышение несущей способности бетона при смятии, необходимо ограничивать габариты расчетной площади смятия A_{loc2} таким образом, чтобы ни один из ее размеров не превышал более чем в три раза соответствующий размер площади смятия.

Предложенный подход позволил с удовлетворительной точностью оценить расчетом результаты экспериментальных исследований [1, 2]. Однако, как показал проведенный в [4] анализ, в основе методики расчета прочности на местное сжатие норм [3] и других положены эмпирические зависимости, не основанные на ясных физических моделях и в связи с этим не дающие пользователю возможности применения этих зависимостей в нестандартных случаях.

В связи с этим автором в [4] предложена для расчета бетонных элементов более обоснованная расчетная модель, исходящая из ясного физического понимания природы повышения прочности бетона при местном сжатии. Повышение прочности является результатом работы бетона, расположенного под площадью нагружения, в условиях многоосного сжатия под действием бокового давления, создаваемого работой на растяжение окружающего бетона. Указанная расчетная модель была включена в разработанные впервые отечественные нормы проектирования [5]. Уже после введения данных норм в действие автором в развитие этой расчетной модели были разработаны более совершенные зависимости для расчета конструкций на местное сжатие [6–9].

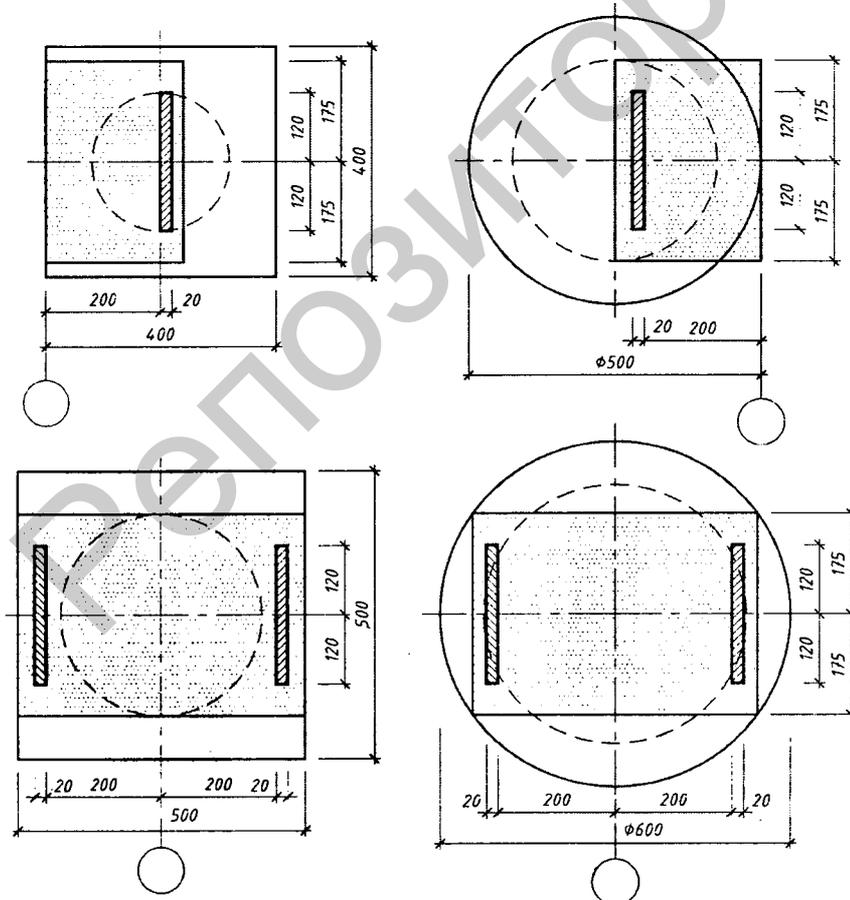


Рис. 1. Расположение опорных ребер стальных стропильных конструкций на оголовках колонн

В настоящее время разработаны проекты технических кодексов установившейся практики Республики Беларусь (далее — ТКП) в области проектирования железобетонных конструкций, основным из которых является ТКП 45-5.03-218 "Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы проектирования. Часть 1. Основные положения". В его развитие разработан ТКП 45-5.03-219 "Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы проектирования. Часть 2. Общие правила проектирования ненапряженных конструкций из тяжелого бетона" [10]. При разработке этих ТКП в основном сохранена преемственность с действующими нормами [5]. В ТКП включены, как правило, только те методы расчета, которые основаны на максимально приближенных к реальным физическим расчетным моделям. При этом расчетные зависимости указанных методов расчета содержат наиболее существенные параметры реального напряженного состояния конструкций, а второстепенные факторы учитываются эмпирическими зависимостями.

Цель исследований, представленных в кратком виде в данной статье, заключается в расширении области применения методики расчета норм [5] на основе новых расчетных зависимостей, предложенных в [6–9], на случай расчета на местное сжатие двухслойной бетонной конструкции. При этом должны быть рассмотрены различные случаи взаимного расположения слоев бетона и площадок приложения нагрузки, наличие косвенного армирования поперечными сварными сетками и спиральным армированием, а также наличие пластин закладных изделий оголовка и соединительных пластин.

УЧЕТ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ СЛОЕВ БЕТОНА И ПЛОЩАДОК ПРИЛОЖЕНИЯ МЕСТНОЙ НАГРУЗКИ

Согласно предложениям [6], расчетное сопротивление бетона при местном сжатии (для простоты изложения в статье рассмотрен случай концентричного сжатия) следует рассчитывать по следующей зависимости:

$$f_{cud} = \omega_u \cdot f_{cd}, \tag{1}$$

где f_{cd} — расчетная прочность бетона при осевом сжатии;

ω_u — коэффициент, учитывающий повышение прочности бетона при смятии, который следует определять по формуле:

$$\omega_u = 1 + k_u \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{cm}} \cdot \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) \leq \omega_{u,max}, \tag{2}$$

здесь k_u — коэффициент эффективности бокового обжатия при смятии, принимаемый для тяжелого (трехкомпонентного) бетона равным $k_u = 12,5$;

$\omega_{u,max}$ — предельное значение коэффициента повышения расчетного сопротивления бетона при местном сжатии;

f_{cm}, f_{ctm} — средняя прочность бетона при осевом сжатии и растяжении.

Физический смысл параметров рассматриваемой методики расчета может быть выражен после подстановки зависимости (2) в (1) следующим образом:

$$f_{cud} = f_{cd} \cdot \left(1 + k_u \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{cm}} \cdot \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) \right) = f_{cd} \cdot \left(1 + k_u \cdot \frac{\sigma_0}{f_{cm}} \right),$$

где σ_0 — боковое обжатие бетона под площадкой приложения нагрузки, создаваемой обжимной из растяжения окружающей бетоном, определяемое по зависимости (3), полученной исходя из расчетной схемы, представленной на рис. 2

$$\sigma_0 = \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) f_{ctm}. \tag{3}$$

Принимая во внимание результаты исследований [6], рассмотрим различные случаи расположения слоев бетона и площадок приложения местной нагрузки. Следует отметить, что для всех рассматриваемых расчетных зависимостей этого подраздела A_{ci} определяется как полная площадь внутри i -го контура, показанного на рис. 2, 3. Для случая расположения площадки приложения нагрузки только в пределах внутреннего слоя расчетная схема для определения бокового обжатия приведена на рис. 3.

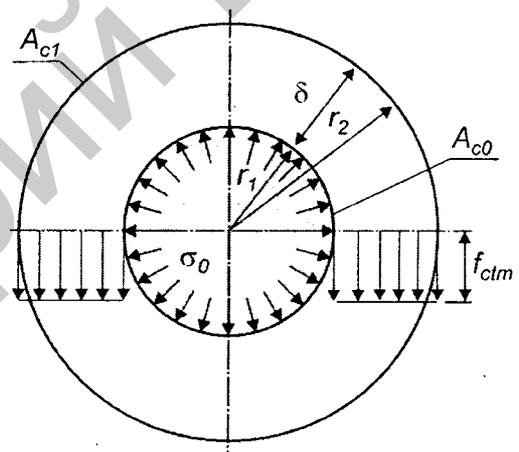


Рис. 2. Расчетная схема для определения значения бокового давления при местном действии сжимающей нагрузки на однослойный бетонный элемент

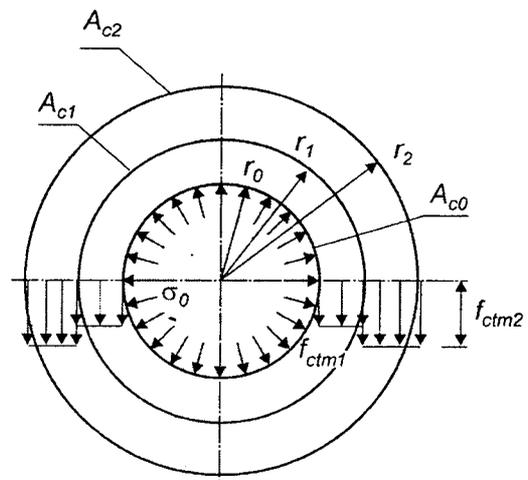


Рис. 3. Расчетная схема для определения значения бокового давления при местном действии сжимающей нагрузки в пределах внутреннего слоя двухслойного бетонного элемента

Значение бокового обжатия согласно расчетной схеме на рис. 3 можно определить по зависимости

$$\sigma_0 = \left(\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right) \cdot f_{ctm1} + \left(\sqrt{\frac{A_{c2}}{A_{c0}}} - \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \right) \cdot f_{ctm2}$$

Вычисления по этой зависимости показали, что с погрешностью не более 5 % значение бокового обжатия может быть вычислено по более простой формуле

$$\sigma_0 = \left(\sqrt{\frac{A_{c2}}{A_{c0}}} - 1 \right) \cdot f_{ctm,red}$$

где $f_{ctm,red}$ — приведенная по площади окружающего бетона средняя прочность бетона на осевое растяжение, определяемая по зависимости:

$$f_{ctm,red} = \frac{f_{ctm1}(A_{c1} - A_{c0}) + f_{ctm2}(A_{c2} - A_{c1})}{A_{c2} - A_{c0}}$$

Расчетную прочность бетона при местном сжатии можно определить по следующей зависимости

$$f_{cud} = f_{cd1} \cdot \left(1 + k_u \cdot \frac{\sigma_0}{f_{cm1}} \right)$$

Для случая расположения площадки приложения нагрузки в пределах как первого, так и второго слоев расчетная схема для определения бокового обжатия приведена на рис. 4.

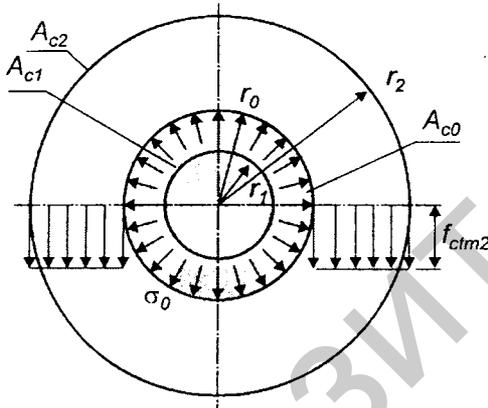


Рис. 4. Расчетная схема для определения значения бокового давления при местном действии сжимающей нагрузки в пределах обоих слоев двухслойного бетонного элемента

Тогда значение бокового обжатия определится по зависимости

$$\sigma_0 = \left(\sqrt{\frac{A_{c2}}{A_{c0}}} - 1 \right) \cdot f_{ctm2}$$

Затем определяются приведенная характеристическая прочности бетона при осевом сжатии в пределах площади приложения нагрузки

$$f_{cm,red} = f_{cm2} + (f_{cm1} - f_{cm2}) \frac{A_{c1}}{A_{c0}}$$

и приведенная расчетная прочность бетона при осевом сжатии в пределах площади приложения нагрузки

$$f_{cd,red} = f_{cd2} + (f_{cd1} - f_{cd2}) \frac{A_{c1}}{A_{c0}}$$

Тогда приведенную расчетную прочность бетона при местном сжатии можно рассчитать по следующей зависимости:

$$f_{cud} = f_{cd,red} \cdot \left(1 + k_u \cdot \frac{\sigma_0}{f_{cm,red}} \right)$$

УЧЕТ КОСВЕННОГО АРМИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫМИ СВАРНЫМИ СЕТКАМИ И СПИРАЛЬНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Согласно [7, 8], при косвенном армировании элементов из тяжелого бетона сварными поперечными сетками, подвергнутых действию местной сжимающей нагрузки, несущую способность элементов проверяют из условия

$$N_{sd} \leq \alpha_u \cdot f_{cud,eff} \cdot A_{c0} \tag{4}$$

где N_{sd} — равнодействующая расчетных усилий, действующих на площадь смятия A_{c0} ; α_u — коэффициент, зависящий от распределения напряжений по площади смятия; $f_{cud,eff}$ — приведенная расчетная прочность бетона на смятие, определяемая по формуле (но принимаемая не более $2f_{cud}$):

$$f_{cud,eff} = f_{cud} + 2,5 \rho_{xy} \cdot f_{yd,xy} \cdot \varphi_s \tag{5}$$

где f_{cud} — расчетная прочность бетона, определенная по формулам предыдущего раздела; $f_{yd,xy}$ — расчетное сопротивление арматуры сеток; ρ_{xy} — коэффициент армирования, определяемый по формуле (6):

$$\rho_{xy} = \frac{n_x \cdot A_{sx} \cdot l_x + n_y \cdot A_{sy} \cdot l_y}{l_x \cdot l_y \cdot s_n} \tag{6}$$

здесь n_x, A_{sx}, l_x — соответственно число стержней, площадь поперечного сечения и длина стержня сетки (считая в осях крайних стержней) в одном направлении; n_y, A_{sy}, l_y — то же, в другом направлении; s_n — расстояние между сетками; φ_s — коэффициент, учитывающий влияние косвенного армирования в зоне местного сжатия, определяется по формуле:

$$\varphi_s = \sqrt{\frac{A_{eff}}{A_{c0}}} \tag{7}$$

A_{eff} — площадь бетона внутри контура сетки.

Значение коэффициента косвенного армирования при армировании спиралью

$$\rho_{xy} = \frac{4A_{s,cir}}{l_{core} \cdot s_{cir}} \tag{8}$$

где $A_{s,cir}, l_{core}, s_{cir}$ — соответственно площадь поперечного сечения спирали, диаметр сечения внутри спирали, шаг спирали.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИН ЗАКЛАДНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОГОЛОВКА И ПЛАСТИН СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Пластины закладных изделий оголовка и соединительных пластин обладают высокой распределительной

способностью. Степень распределения зависит от толщины пластин δ_{pl} , расчетного сопротивления стали пластины $f_{yd,pl}$ и, что особенно важно, от расчетной прочности бетона, расположенного под пластиной $f_{cu,d}$ [9].

При наличии стальной пластины толщиной δ_{pl} площадь бетона A_{c0} , расположенная в плоскости низа пластины, должна определяться по площади приложения нагрузки на верхнюю плоскость пластины A_{pl} , дополненной площадью зоны распределения, обеспечиваемой пластиной

$$A_{c0} = A_{pl} + p \cdot a_d + 4a_d^2, \quad (9)$$

где p — периметр площади приложения нагрузки на пластину;
 a_d — условная ширина зоны распределения (рис. 5).

При этом условную ширину зоны распределения следует определять по зависимости

$$a_d = \delta_{pl} \cdot \sqrt{\frac{f_{ym}}{3f_{cum}}}, \quad (10)$$

где δ_{pl} — толщина пластины;
 f_{ym} — среднее значение предела текучести стали пластины;
 f_{cum} — среднее значение прочности бетона при местном сжатии, определяемое по (4) при $\gamma_c = 1$ и площади A_{c0} , определяемой по (9).

Среднее значение предела текучести стали пластины f_{ym} следует определять по его нормативному значению f_{yk} при значении коэффициента вариации, равном 0,07.

Решение системы нелинейных уравнений (4), (9), (10) целесообразно выполнять методом последовательных приближений. В качестве первого приближения значение a_d рекомендуется определять по зависимости (10) при значении f_{cum} , определенном при площади $A_{c0} = A_{pl}$.

Для каждого цикла приближения по начальному значению a_d определяют площадь A_{c0} и значение f_{cum} при этой площади. При новом значении f_{cum} определяют конечное значение a_d . Расчет останавливают, если расхождение конечного значения a_d от начального не превышает 1 %.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

Оценка точности предлагаемой методики расчета выполнялась согласно приложению D базового документа [11] системы строительных Еврокодов. Было выполнено сравнение теоретических и опытных значений несущей способности для опытных образцов оголовков, исследованных в [2]. Вычисления выполнялись только для тех образцов, в которых в пределы площади передачи нагрузки от пластины на бетон попадали бетоны, различающиеся

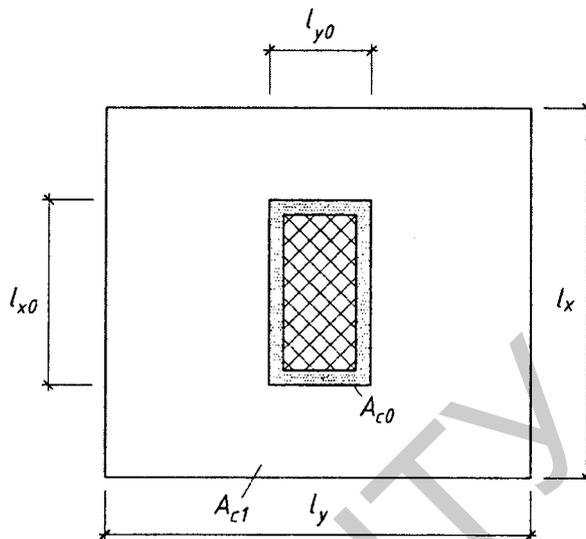


Рис. 5. К определению площади A_{c0} при учете влияния пластин на несущую способность бетонного элемента при местном сжатии

прочностью на сжатие. Общее число экспериментальных значений составило 10, в том числе шесть опытных образцов квадратного сечения с сеткой квадратной формы и четыре образца круглого сечения с сеткой из ортогонально расположенных стержней, окаймленной кольцом. В последнем случае при определении p_{xy} длина ортогонально расположенных стержней принималась в пределах габарита окаймляющего кольца.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что предлагаемая методика расчета позволяет получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными величинами. Показатель поправки среднего значения b равен 1,0428, а показатель коэффициента вариации V_s величины рассеяния δ равен 0,1481.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложена методика расчета бетонных и железобетонных элементов на местное сжатие для бетонных и железобетонных элементов, изготовленных с продольными слоями бетонов различной структуры и прочности.
2. Приведены зависимости для расчета прочности таких элементов на местное сжатие для различных случаев взаимного расположения слоев бетона и площади приложения нагрузки, при косвенном армировании поперечными сварными сетками и спиральном армировании, а также при наличии пластин закладных изделий оголовка и пластин соединительных элементов.
3. Сопоставление значений несущей способности, рассчитанных по предложенной методике, с экспериментально полученными значениями показало, что она обеспечивает их удовлетворительную сходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработать, исследовать и внедрить новые центрифугированные железобетонные конструкции различных форм поперечного сечения широкой номенклатуры, каркасы одноэтажных и многоэтажных зданий: отчет о НИР (промеж.) / Белорусский политехнический институт; рук. темы Т. М. Пецольд. — Минск, 1987. — 82 с. — № ГР 01860100607.

2. Лассо, Т. И. Исследование напряженно-деформированного состояния оголовков центрифугированных колонн: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Т. И. Лассо. — Минск, 1991. — 168 л.
3. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84*. — Введен 01.01.1986. — М.: Госстрой СССР, 1986. — 80 с.
4. Rak, N. Plain Concrete Strength Under Local Compression According To Belarusian Building Code / N. Rak // Behavior of Concrete at High Temperatures and Advanced Design of Concrete Structures. — Мтнск: Технопринт, 2003. — С. 206–217.
5. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Строительные нормы Республики Беларусь. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. — Введен 01.07.03. — Минск: Минстройархитектуры, 2003. — 140 с.
6. Рак, Н. А. Калибровка частного коэффициента по бетону для расчета бетонных элементов при местном сжатии / Н. А. Рак // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: сб. науч. статей: матер. Междунар. науч.-метод. семинара, Минск, 29 мая 2012 г. Ч. 1. — Минск: БНТУ, 2012. — С. 84–89.
7. Рак, Н. А. Надежность расчета несущей способности при местном сжатии элементов, усиленных косвенным армированием / Н. А. Рак // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. научн. тр. XVIII Междунар. науч.-метод. семинара: в 2 т. — Новополоцк: ПГУ, 2012. — Т. 1. — С. 25–29.
8. Рак, Н. А. Оценка надежности расчета несущей способности при местном сжатии элементов, усиленных косвенным армированием / Н. А. Рак // Строительная наука и техника. — 2012. — № 2 (41). — С. 49–53.
9. Рак, Н. А. Об учете влияния стальных пластин на несущую способность бетонных элементов при местном сжатии / Н. А. Рак // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: сб. науч. статей: матер. Междунар. науч.-метод. семинара, Минск, 22–23 мая 2013 г. Ч. 1. — Минск: БНТУ, 2013. — С. 120–129.
10. Бетонные и железобетонные конструкции. Часть 2. Общие правила проектирования ненапряженных конструкций из тяжелого бетона (окончательная редакция): ТКП 45-5.03-219-2013.
11. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций: ТКП EN 1990-2011. — 64 с.

Статья поступила в редакцию 30.10.2013.