УДК 624.072.2

ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЁТА КОНСОЛЬНЫХ ОПОР И ПРИОПОРНЫХ ЗОН БАЛОК С ПОДРЕЗКОЙ.

Комаров Виктор Александрович,

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,

г. Пенза,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции».

Просвирнов Андрей Алексеевич,

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,

г. Пенза,

аспирант кафедры «Строительные конструкции».

Аннотация

Рассмотрены методы расчёта консольных опор и приопорных зон балок с подрезками принятые отечественными и зарубежными нормами. Дан анализ составления расчётной несущей способности по методике СНиП 2.03.01-84* и зарубежным нормам.

Ключевые слова: консольная опора, балки, приопорные сечения, расчётные модели, методы расчёта.

OVERVIEW OF METHODS FOR CALCULATING CANTILEVERED SUPPORTS AND SUPPORTED ZONES OF BEAMS WITH UNDERCUTTING.

Komarov Viktor Alexandrovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Building Structures".

Prosvirnov Andrey Alexeyevich,

Penza State University of Architecture and Construction,

Penza,

Postgraduate student of the department of "Building Structures".

Abstract

The methods for calculating cantilever supports and the support zones of beams with notches, as adopted by domestic and foreign standards, are considered. An analysis is provided of the calculation of the design load-bearing capacity using the SNiP 2.03.01-84* methodology and foreign standards.

Keywords: cantilever support, beams, support sections, design models, calculation methods.

Рассмотрим метод расчета консольной опоры и приопорной зоны балки с подрезкой, принятый СНиП 2.03.01-84*.

Производится расчет на действие поперечной силы и изгибающего момента по поперечной силе для наклонных сечений, проходящих у опоры консоли, образованной подрезкой (рисунок 1):

- по наклонной сжатой полосе консоли на действие поперечной силы (сечение 1)

- по наклонному сечению подрезки на действие поперечной силы (сечение 2)

- по наклонному сечению входящего угла подрезки на действие изгибающего момента (сечение 3)

- по наклонному сечению вне подрезки (по полной высоте балки) на действие изгибающего момента (сечение 4)

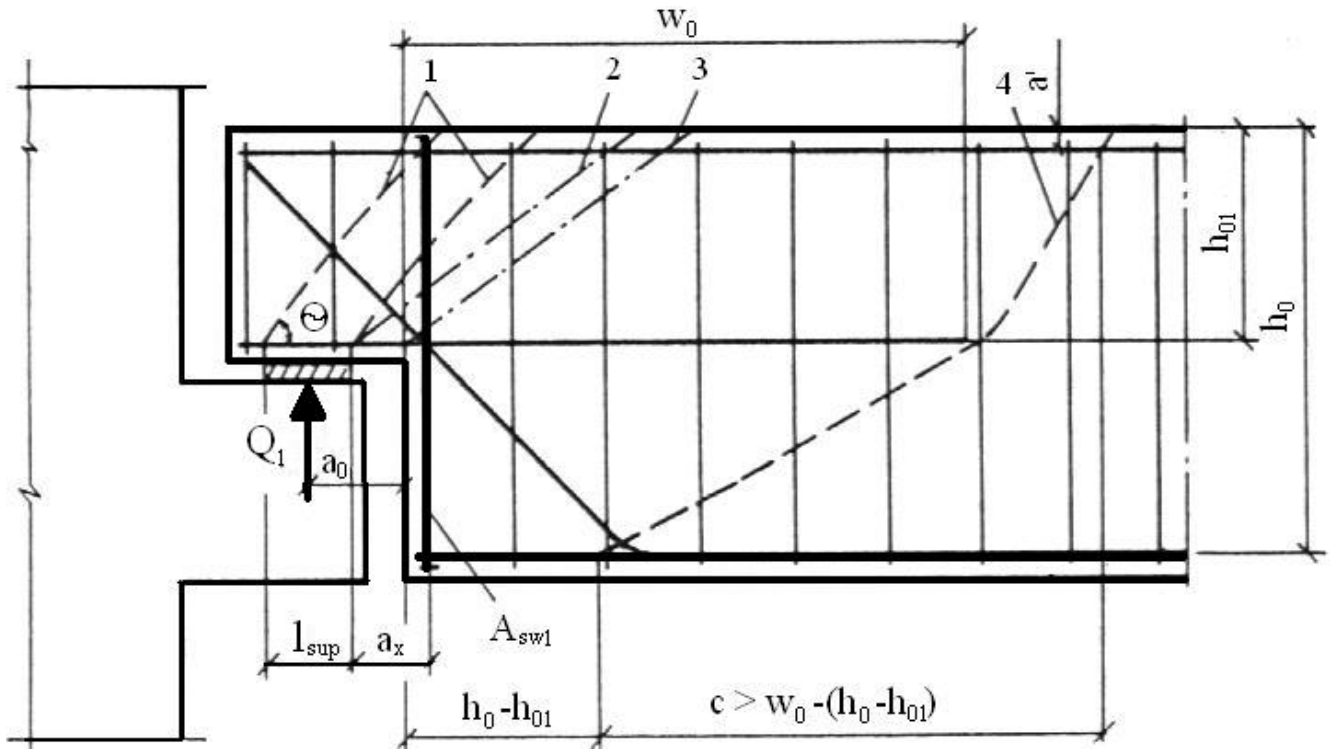


Рисунок 1 – Расчетные наклонные сечения в элементе с подрезкой
1 — наклонная сжатая полоса; 2 — при расчете по поперечной силе;
3 — то же, по изгибающему моменту; 4 — то же, по изгибающему моменту вне подрезки

Расчет консоли на действие поперечной силы по наклонной сжатой полосе между наклонными трещинами производится из условия:

$$Q \le 0{,}3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b b h_{oc}$$

где φ_{w1}- коэффициент, учитывающий влияние хомутов, нормальных к продольной оси элемента, определяется по формуле

$$\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w$$

но не более 1,3;

где

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b}, \quad \mu_w = \frac{A_{sw}}{b_s}$$

φ_{b1}- коэффициент, определяемый по формуле:

$$\varphi_{b1} = 1 - \beta \cdot R_b$$

здесь β - коэффициент, принимаемый равным для тяжелого и мелкозернистого бетона – 0,014; для легкого бетона – 0,02.

Расчет короткой консоли подрезки производится по наклонной сжатой полосе (рисунок 2), направление которой принимается от наружного края площадки опирания до равнодействующей усилий в дополнительных хомутах площадью сечения на уровне сжатой арматуры балок, т.е. при

$$\sin^2\theta = \frac{(h_{01} - a')^2}{(h_{01} - a')^2 + (\ell_{sup} + a_x)}$$

Расчет короткой консоли балки на действие поперечной силы для обеспечения прочности по наклонной сжатой полосе производится из условия:

$$Q \le R_b b \ell_{sup} \sin^2\theta (1 + 5\alpha\mu_w)$$

в котором правая часть принимается не более $3{,}5R_{bt}bh_{oc}$ и не менее $2{,}5R_{bt}bh_{oc}$,

где ℓ_{sup} - длина площадки опирания нагрузки вдоль вылета консоли.

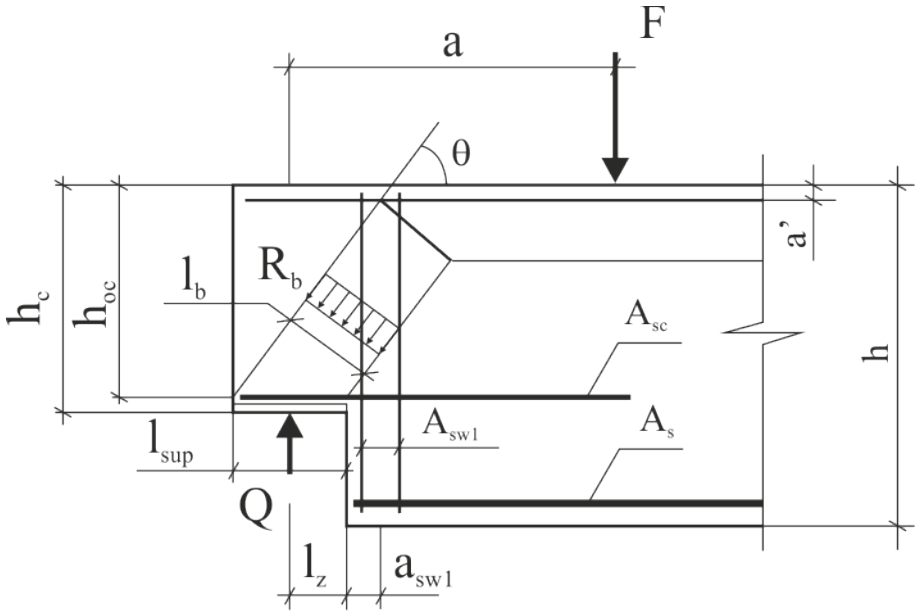


Рисунок 2 – Расчетная схема опорной консоли балки.

Проверка прочности наклонного сечения на действие поперечной силы производится из условия:

$$Q \le Q_b + Q_{sw}$$

где Q_b - поперечное усилие, воспринимаемое бетоном

$$Q_b = \frac{M_b}{C}$$

$$M_b = \varphi_{b2}(1+\varphi_f)R_{bt}bh_{oc}^2$$

Значение Q_b принимается не менее:

$$Q_{b\,min} = \varphi_{b3}(1+\varphi_f)R_{bt}bh_{oc}$$

$\varphi_{b2}, \varphi_{b3}$ - коэффициенты, учитывающие вид бетона,

φ_f - коэффициент, учитывающий влияние сжатых полок в тавровых и двутавровых элементах,

Q_{sw} - поперечное усилие, воспринимаемое хомутами и равное:

$$Q_{sw} = q_{sw} \cdot c_o$$

здесь q_{sw} - усилие в хомутах на единицу длины элемента в пределах наклонного сечения, определяемого по формуле:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{S}$$

где c_o - длина проекции наклонной трещины на продольную ось элемента, принимаемая равной:

$$c_o = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw}}}$$

но не более C и не более $2h_{oc}$, а также не менее h_{oc}, если $C > h_{oc}$.

В общем случае задаются рядом наклонных сечений при различных значениях C, не превышающих расстояние от опоры до сечения с максимальным изгибающим моментом и не более $\frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}}h_{oc}$. При действии сосредоточенных сил значения C принимаются равными расстояниям до точек приложения этих сил.

Хомуты, необходимые для обеспечения прочности наклонного сечения, следует устанавливать за конец подрезки на участке длиной не менее w_0, определяемой по формуле

$$w_0 = \frac{2(Q_1 - R_{sw}A_{sw1} - R_{swinc}A_{s,inc}\sin\theta)}{q_{sw}} + a_0 + 10d$$

где Q_1 - поперечная сила в нормальном сечении у конца подрезки;

A_{sw1} - площадь сечения дополнительных хомутов, расположенных у конца подрезки на участке длиной не более $h_{oc}/4$ и не учитываемых при определении интенсивности хомутов q_{sw} у подрезки;

$A_{s,inc}$ - площадь сечения отгибов, проходящих через входящий угол подрезки;

a_0 - расстояние от опоры консоли до конца подрезки;

d - диаметр продольной арматуры консоли.

Хомуты и отгибы, установленные у конца подрезки, должны удовлетворять условию:

$$R_{sw}A_{sw1} + R_{swinc}A_{s,inc}\sin\theta \geq Q_1\left(1 - \frac{h_{oc}}{h_o}\right)$$

где h_{oc}, h_o - рабочая высота соответственно в короткой консоли подрезки и в балке вне подрезки.

При свободно опертых балках с подрезками должен производится расчет на действие изгибающего момента в наклонном сечении, проходящем через входящий угол подрезки (рисунок 1.4) из условия:

$$M \leq R_s A_{sc} z_{sc} + R_{sw1}A_{sw1}z_{sw1} + \sum R_{sw}A_{sw}z_{sw} + \sum R_{sw}A_{s,inc}z_{s,inc}$$

где $R_s A_{sc} z_{sc}$, $R_{sw1}A_{sw1}z_{sw1}$, $\sum R_{sw}A_{sw}z_{sw}$, $\sum R_{sw}A_{s,inc}z_{s,inc}$ - сумма моментов относительно той же оси от усилия соответственно в продольной арматуре консоли, сосредоточенных непосредственно за подрезкой хомутах и отгибах, пересекающих растянутую зону наклонного сечения;

z_{sc}, z_{sw1}, z_{sw}, $z_{s,inc}$ - расстояние от плоскостей расположения соответственно продольной арматуры консоли, сосредоточенных хомутов непосредственно за подрезкой, хомутов и отгибов до указанной оси.

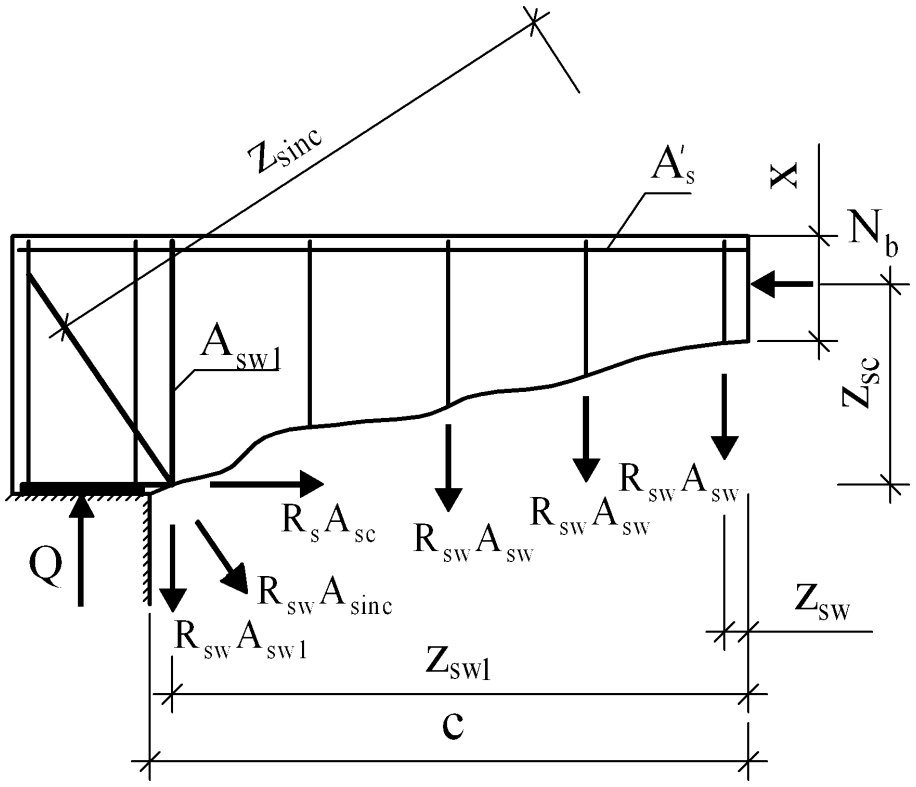


Рисунок 3 – Схема усилий в наклонном сечении, проходящим через входящий угол подрезки балки на действие изгибающего момента.

Если нижняя продольная арматура балки не имеет анкеров, должны быть проверены на действие изгибающего момента прочность наклонного сечения, расположенного вне подрезки и начинающегося за указанными хомутами на расстоянии $h_{oc} - h_{oc}$ от торца, при этом в расчете не учитывается продольная арматура короткой консоли, а длина проекции С принимается не менее расстояния от начала наклонного сечения до конца указанной арматуры.

Нормы Германии рекомендуют расчет консольной опоры балок производить по расчетной схеме, показанной на рисунке 4. Нормы моделируют работу консольной опоры, представляя ее, как работу стержневой системы, образуемой арматурными стержнями. Усилия в стержнях модели определяются по следующим зависимостям:

$$V_{w1}=F$$

$$V_{sw}=F$$

$$V_A=0{,}9F$$

$$V_{inc}=F\frac{Z_s}{\overline{Z}}=\frac{1}{\sqrt{2}}F$$

где F - поперечная сила на опоре;

V - усилия в соответствующих стержнях арматуры, согласно рисунку 4;

$$Z_s=0.85h_{oc}\ \overline{Z}=\sqrt{2}\cdot 0{,}8h_c,$$

где h_c,- расчетная высота консоли.

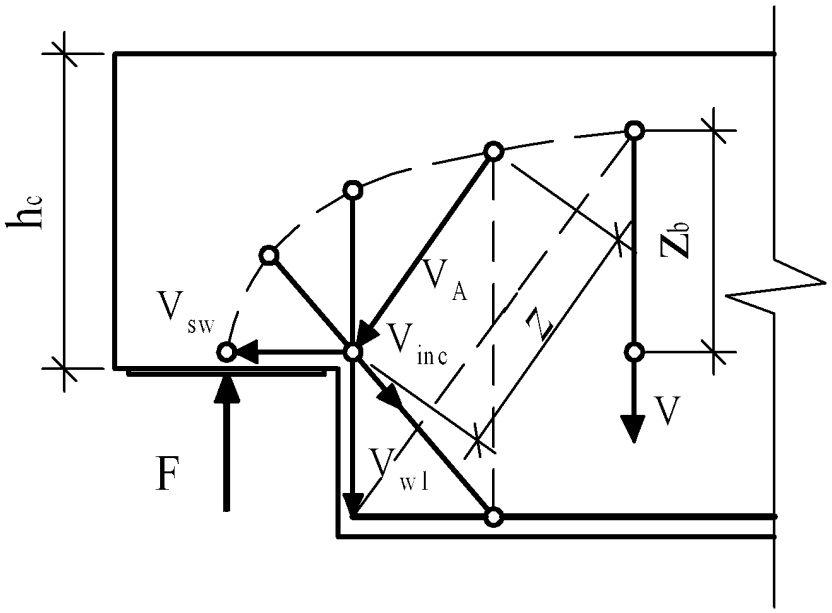


Рисунок 4 – Расчетная схема консольной опоры, принятая нормами Германии

Нормы Европейского комитета по бетону (ЕКБ) дают рекомендации по определению количества сосредоточенной поперечной арматуры, расположенной за опорным сечением консоли, на участке, равном высоте подрезки. На рисунке 1.6 показана расчетная модель консольной опоры, принятая ЕКБ. Количество вертикальных хомутов определяется по зависимостям

$$V_{w1}=R_sA_{sw}$$

$$V_{w1}=0{,}9F$$

где F - поперечная сила на опоре;

V_{w1} - усилия в сосредоточенных хомутах площадью A_{sw1}.

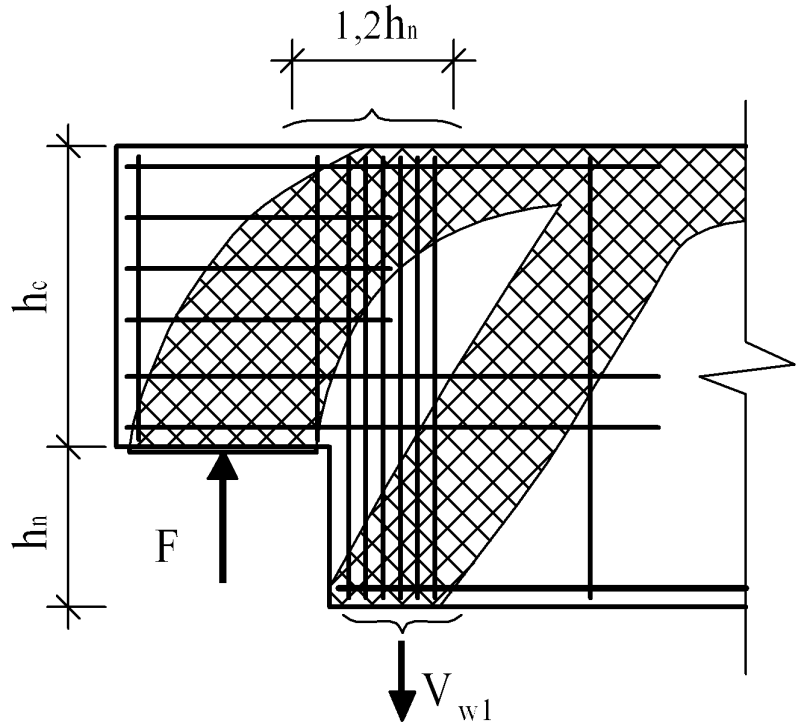


Рисунок 5 – Расчетная модель консольной опоры балки по ЕКБ

Нормы США рекомендуют расчет консольных опор производить по формуле

$$V_n=V_c+V_s+V_h$$

где V_c - усилие воспринимаемое бетоном и определяемое по эмпирической зависимости

$$V_c=(3,5d/a)bd\lambda\sqrt{f_c'};$$

V_s - усилие, воспринимаемое вертикальными хомутами и определяемое по формуле

$$V_s=A_v f_y(1,0-0,5a/d)$$

V_h - усилие, воспринимаемое вертикальными хомутами и определяемое по формуле

$$V_h=A_h f_y(1,5-a/d);$$

здесь b, d - ширина и рабочая высота консоли;

a - расстояние между центром приложения силы и опорной реакцией;

f_c' - цилиндрическая прочность бетона;

f_y - предельное сопротивление арматуры;

A_v, A_h - суммарная площадь поперечного сечения вертикальных и горизонтальных хомутов.

Расчетная схема, соответствующая рассмотренному расчету показана на рисунке 6.

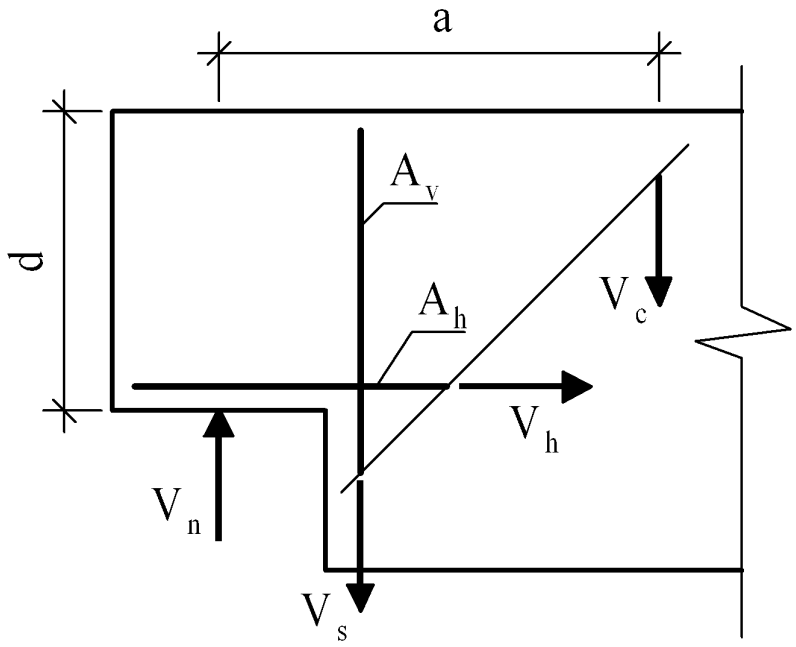


Рисунок 6 – Расчетная схема консольных опор, принятая нормами США

Расчет прочности наклонных сечений, принятый СНиП 52-01-2003 аналогичен расчету прочности наклонных сечений в СНиП 2.03.01-84*.

Расчет производят: по наклонному сечению на действие поперечной силы, по наклонному сечению на действие изгибающего момента и по полосе между наклонными сечениями на действие поперечной силы.

В настоящее время Свод правил СП 63.13330.2018 к СНиП 52-01-2003 расчета прочности наклонных сечений консольной опоры приопорной зоны балок не принят.

Принятый расчет прочности наклонных сечений консольной опоры и приопорной зоны балки с подрезкой СНиП 52-01-2003, базирующийся на методе расчета СНиП 2.03.01-84*, имеет ряд недостатков. Назначаются расчетные наклонные сечения, пересекающие балку по высоте консоли и по высоте балки, по принципу, принятому для обычных балок. Расчет прочности указанных

расчетных сечений ведется по условиям, соответствующим балкам без консольных опор. Расчет прочности наклонных сечений производят по наклонному сечению на действие поперечной силы, по наклонным сечениям на действие изгибающего момента и по полосе между наклонными сечениями на действие поперечной силы. Расчет на действие поперечной силы по наклонной сжатой полосе консоли балки ведется как расчет наклонной сжатой полосы консоли колонны.

Нормы Германии, представляющие работу консольных опор по ферменной аналогии, полагая, что все усилия воспринимаются арматурой, назначают усилия в вертикальных хомутах, сосредоточенных у опоры консоли и в продольных стержнях консоли равными величине поперечной силе, действующей на опоре. Остальные усилия находятся в зависимости от принятых при расположении наклонной арматуры под углом 45°. Анализ показывает, что несущая способность рассчитанной таким образом арматуры не реализуется. Таким образом принятый в нормах Германии метод расчета является в известной степени условным.

В нормах США несущая способность консольной опоры определяется как сумма усилий в хомутах различного вида и отгибах, а также в бетоне. Каждое из усилий определяется с использованием эмпирических зависимостей, полученных экспериментальным путем.

В нормах ЕКБ усилие в сосредоточенных хомутах принимается равным поперечной силе, увеличенной на 20%. При небольших и средних марках бетона несущая способность таких хомутов не используется. Сам прием определения усилий в хомутах является условным.

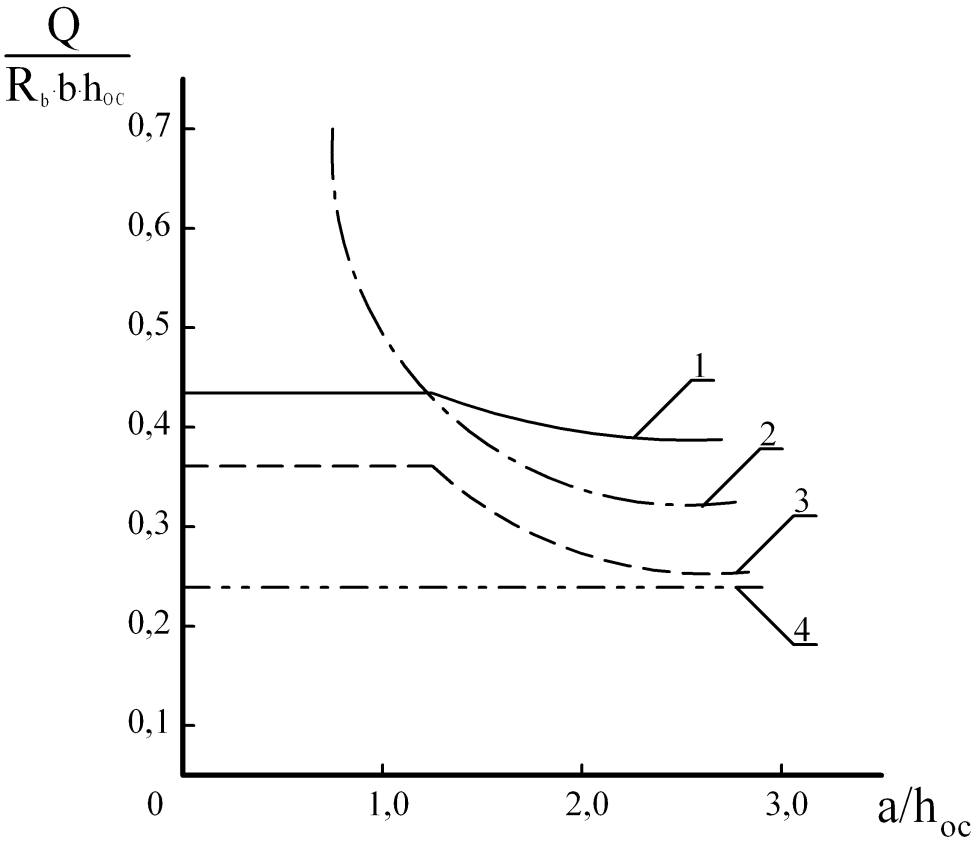


Рисунок 7 – График сопоставления несущей способности консольных опор

1 – Q (СНиП); 2 – М (СНиП); 3 – нормы США; 4 – нормы Германии

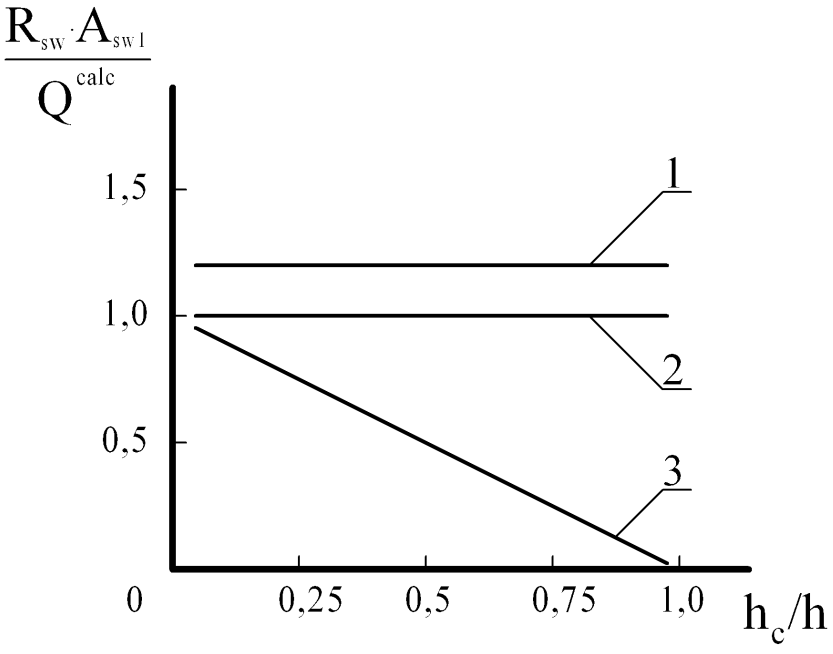


Рисунок 8 – График сопоставления оценки количества сосредоточенной у консольной опоры поперечной арматуры

1 – ЕКБ; 2 – нормы США; 3 – СНиП 2.03.01-84*

Вывод

В целом, принятые нормативные методы расчета консольной опоры и приопорной зоны балки имеют ряд условностей, что в достаточной мере не отражает действительную работу, связанную с конструктивными особенностями консольных опор балок и приопорной зоны по сравнению с обычными балками и консолями колонн. Сопоставление несущей способности консольных опор по методике СНиП 2.03.01-84* и по зарубежным нормам приведены на рисунках 7÷8.

Библиографический список:

1. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции. М., Строиздат, 1984.

2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84*), М., ЦНИИпромзданий, 1984.

3. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., НИИЖБ Госстроя России, 2004.

4. СП 52-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М., НИИЖБ Госстроя России, 2004.

5. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003) М., Ассоциация «Железобетон», 2005.

6. СП 63.13330.2018. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М. 2021.

7. Американские нормы ACI CODE 318-95. American concrete institute building code. 1995.

8. Европейские нормы EUROCODE-2. Design of concrete structures. PART 1: General rules and rules for buildings. Pr. ENV 1992-1:2001.

9. Немецкие нормы DIN-1045-1.12.1998. Tragwerke aus beton. Stahlbaton und spannbeton.