

$\beta_n$  – коэффициент, зависящий от отношения толщины более тонкого элемента к диаметру нагеля;

$k_\alpha$  – коэффициент, учитывающий угол  $\alpha$  между силой и направлением волокон.

2. Определяем расчетную несущую способность нагельного соединения

$$R_d = R_{1d,\min} \cdot n_n \cdot n_s,$$

где  $R_{1d,\min}$  – мин-ное значение несущей способности одного среза нагеля в соединении;

$n_n$  – количество нагелей в соединении;

$n_s$  – количество швов в соединении для одного нагеля.

В результате проведения испытаний получаем значения несущей способности образцов и сравниваем их с соответствующими значениями, определенными теоретически.

Таким образом, проведя испытания и обработав полученные данные, можно сделать вывод, что при применении комбинированной фанеры в нагельном соединении, расстояние между нагелями можно уменьшить на 17%, т.е. при толщине пакета  $<10d$  (где  $d$  – диаметр нагеля), расстояние вдоль волокон между осями нагелей и до торца элемента  $S_1$  можно уменьшить до  $5d$ , поперек волокон между осями нагелей  $S_2$  до  $2,5d$ , а поперек волокон до кромки элемента  $S_3$  до  $2,1d$ .

#### **Список цитированных источников**

1. Деревянные конструкции: ТКП 45-5.05-146-2009 / Минстройархитектуры РБ.-Мн.: РУП «Минсктипроект», 2009. – 62 с.

2. Сайт magak.ru [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://magak.ru/wood-and-plastic/malogb-wood-construct/107-2012-06-19-10-21-10?showall=1> – Дата доступа: 12.04.2014.

3. Черноиван, Н.В. Прочностные и упругие свойства комбинированной фанеры // Деревообрабатывающая промышленность. – 1992. – №2. – С. 6-7 (Журнал).

4. Сайт компании «Кодекс» [Электронный ресурс]. – 2012-2043. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/871001210> Дата доступа: 14.04.2014.

5. Электронный портал «Studopedia.ru» [Электрон. ресурс]. – 2012 – Режим доступа: [http://studopedia.ru/3\\_170767\\_osnovnie-vidi-soedineniy-i-pred-yavlyaemie-k-nim-trebovaniya.html](http://studopedia.ru/3_170767_osnovnie-vidi-soedineniy-i-pred-yavlyaemie-k-nim-trebovaniya.html) – Дата доступа: 12.04.2014.

УДК 624.012.36

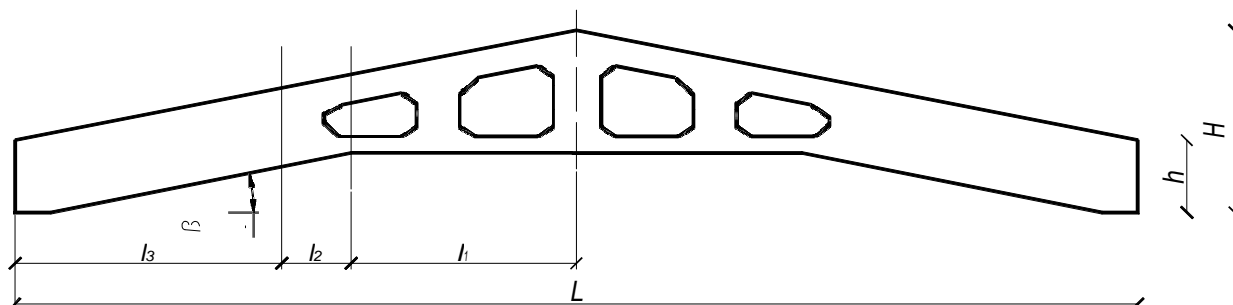
**Матвеевко Н.В.**

**Научный руководитель: к.т.н., профессор Малиновский В.Н.**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНОГО СЕЧЕНИЯ, НОРМАЛЬНОГО К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ, ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ДВУСКАТНОЙ БАЛКИ С ЛОМАННОЙ НИЖНЕЙ ГРАНЬЮ**

Стропильные балки одноэтажных промышленных зданий изготавливаются преднапряженными [1]. При помощи продольной напрягаемой арматуры обеспечивается трещиностойкость сечений нормальных к продольной оси балки. Трещиностойкость же наклонных сечений обеспечивается увеличением толщины стенки в приопорной зоне двутавровых сечений (балки со сплошной стенкой) или по всей длине (решетчатые балки). Более рациональным армированием балок считается расположение арматуры по траектории близкой к траектории главных растягивающих напряжений, которая из нижней зоны в пролете балки перемещается к верхней грани на опорах. Однако криволинейное расположение напрягаемой арматуры сопряжено с повышенной трудоемкостью работ по натяжению арматуры и необходимостью наличия приспособлений, обеспечи-

вающих натяжение арматуры в отогнутом положении или оттяжку ее из первоначально горизонтального положения в проектное отогнутое. Наиболее успешно данный вопрос решается в балках с ломаным нижним поясом [2, 3]. В таких балках прямолинейная предварительно напрягаемая арматура располагается под пологим отгибом по отношению к продольной оси балки (рисунок 1), что обеспечивает трещиностойкость нормальных сечений в средней части пролёта балки и наклонных сечений в опорных зонах [4].



**Рисунок 1 – Балка с ломаным нижним поясом**

Одним из этапов расчета и конструирования изгибаемых железобетонных элементов является определение количества продольной арматуры, необходимого для обеспечения прочности нормальных сечений. Для балок с переменной рабочей высотой сечения предварительно необходимо определить положение по длине балки опасного (расчётного) сечения, нормального к продольной оси балки, которое, как правило, не совпадает с сечением, где действует максимальный изгибающий момент от внешних усилий. Кроме того, следует учитывать, что методика определения опасного по прочности сечения для балок с ломаной нижней гранью имеет отличия от уже разработанной методики для обычной двускатной балки и в первую очередь из-за наличия участков с постоянной высотой сечения на опорах и переменной в середине пролёта.

Как известно, в балках, применяемых в одноэтажных производственных зданиях, прочность по нормальным сечениям обеспечивается высокопрочной арматурой (проволочной, стержневой или канатной). В предложенной конструкции двускатной балки с ломаной нижней гранью (рисунок 1) у опоры траектория напрягаемой арматуры постепенно переходит в сжатую зону сечения, и как следствие этого, в приопорной зоне прочность по нормальным сечениям уменьшается из-за уменьшения плеча внутренней пары усилий сечения. Постановкой дополнительного армирования, располагаемого у растянутой грани, можно повысить несущую способность нормальных сечений. У опоры изгибающие моменты имеют незначительную величину, поэтому прочность по нормальным сечениям на некоторой длине от опоры может быть обеспечена постановкой ненапрягаемой арматуры, которая совместно с напрягаемой образует смешанное армирование.

В приопорной зоне рабочая высота сечения для ненапрягаемой арматуры постоянна, а для напрягаемой изменяется, что влияет на величину усилий, воспринимаемых высокопрочной арматурой. Учёт усилия, воспринимаемого напрягаемой арматурой в сечении, может быть получен рассмотрением деформаций, основываясь на гипотезе плоских сечений. Из рисунка 2б деформации в напрягаемой арматуре могут быть определены как:

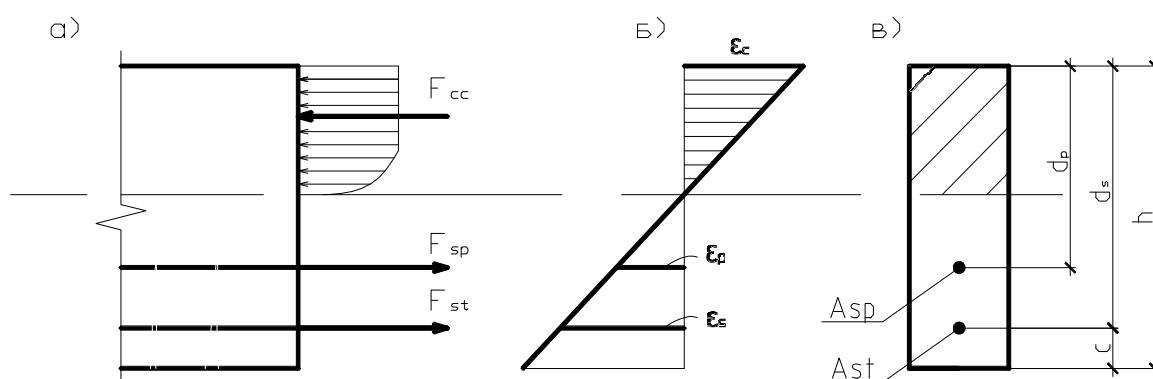
$$\varepsilon_p = \frac{d}{d_s} \cdot (\varepsilon_s + \varepsilon_c) - \varepsilon_c \quad (1)$$

где  $\varepsilon_p$  – приращение относительных деформаций в напрягаемой арматуре от внешнего нагружения;  $\varepsilon_c$  – значение относительных деформаций в сжатой зоне бетона от внешнего нагружения;  $\varepsilon_s$  – значение относительных деформаций в растянутой ненапрягаемой арматуре от внешнего нагружения;  $d_p$  – рабочая высота сечения для напрягаемой арматуры;  $d_s$  – рабочая высота сечения для ненапрягаемой арматуры.

При этом суммарные напряжения в напрягаемой арматуре от внешнего нагружения, упругих и неупругих деформаций, возникающих от предварительного натяжения арматуры, не должны превышать напряжений, соответствующих условному пределу текучести:

$$\varepsilon_{s,tot} \cdot E_p = \varepsilon_p \cdot E_p + \varepsilon_{pm} \cdot E_p + \Delta\varepsilon_{pm} \cdot E_p \leq f_{pd}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{s,tot}$  – суммарные относительные деформации в напрягаемой арматуре;  $\varepsilon_{pm}$  – упругие относительные деформации от предварительного напряжения арматуры;  $\Delta\varepsilon_{pm}$  – неупругие относительные деформации от предварительного напряжения арматуры.



а) расчетная схема сечения; б) распределение деформаций в сечении; в) расчетное сечение  
**Рисунок 2 – К определению деформаций в напрягаемой арматуре**

Из выражения (2) могут быть получены предельно допустимые значения относительных деформаций и напряжений в напрягаемой арматуре:

$$\varepsilon_{pm} = \frac{f_{pd} - \varepsilon_p \cdot E_p - \Delta\varepsilon_{pm} \cdot E_p}{E_p} \quad (3)$$

$$\sigma_{pm} = f_{pd} - \varepsilon_p \cdot E_p - \Delta\varepsilon_{pm} \cdot E_p \quad (4)$$

В представленной статье описана методика определения опасного по прочности сечения, нормального к продольной оси элемента. За основу был принят метод определения опасного сечения для двухскатных балок. Вся балка была разбита на три расчётных участка.

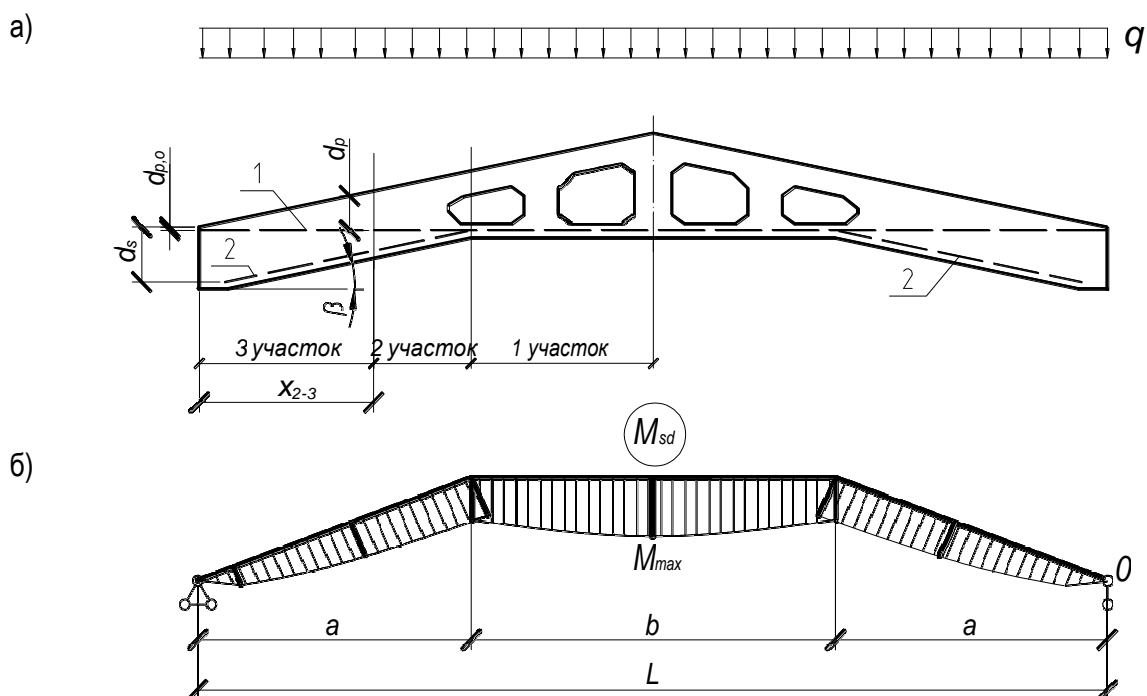
Первый участок находится в середине пролёта, где балка имеет очертание двухскатной балки (рисунок 3). На этом участке производится определение опасного сечения как для типовой двухскатной решётчатой балки из уравнения:

$$i \cdot x_1^2 + 2 \cdot d_p \cdot x_1 - d_p \cdot L = 0, \quad (5)$$

где  $x_1$  – искомое опасное сечение на первом расчётном участке;

$L$  – расчётный пролёт балки.

Полученное значение не может быть меньше длины зоны «а» и больше  $L/2$  (рис. 3), поскольку этими значениями определяются границы первого участка. В случае  $x < a$  расчётное сечение принимается в месте сопряжения наклонной и двускатной частей балки ( $x = a$ ).



а) армирование балки; б) эпюра изгибающих моментов

**Рисунок 3 – Определение расчётного сечения балки при равномерно распределённой нагрузке**

Для найденного опасного сечения производится подбор требуемого армирования таким образом, чтобы прочность сечений, нормальных к продольной оси балки, обеспечивалась только напрягаемой арматурой.

Второй расчётный участок находится в зоне, где прочностные характеристики напрягаемой арматуры используются в полном объёме ( $\epsilon_{sy} \leq \epsilon_p \leq \epsilon_{su}$ ), но вследствие уменьшения рабочей высоты сечения она не способна воспринять усилия от внешнего изгибающего момента в этой зоне. Для обеспечения прочности по нормальным сечениям предусматривается ненапрягаемая арматура, располагающаяся вдоль нижней грани балки. При этом на втором расчётном участке допускается, что напряжения в ненапрягаемой арматуре достигают значений, соответствующих пределу текучести, но не достигают предельных значений деформации ( $\epsilon_{sy} < \epsilon_s < \epsilon_{su}$ ).

Третий расчётный участок находится в приопорной зоне. На данном участке прочность по нормальным сечениям обеспечивается в основном ненапрягаемой арматурой, а включение в работу напрягаемой арматуры оценивается по условию (1). Прочностные характеристики напрягаемой арматуры используются не в полном объеме.

Эффективным считается армирование, когда арматура и бетон достигают предельных состояний одновременно, поэтому для всех трёх участков уровень деформаций в бетоне принимается равным предельным деформациям ( $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$ ).

Граница между вторым и третьим расчётными участками определяется из допущения, что в граничном сечении деформации в ненапрягаемой арматуре достигают предельных значений  $\epsilon_{su}$ , а относительные деформации в напрягаемой арматуре достигают величины  $\epsilon_{pu}$ .

Принимая в граничном сечении:

$$d_p = (d_{p,0} + x \cdot i) \cdot \cos\beta \quad (6)$$

где  $d_{p,0}$  – рабочая высота сечения для напрягаемой арматуры на опоре;  $x$  – расстояние от опоры до расчётного сечения;  $i$  – уклон верхней грани балки;  $\beta$  – угол наклона нижней грани балки,

можно получить выражение для определения местоположения границы между вторым и третьим расчётным участками.

$$x_{2,3} = (\varepsilon_{pu} + \varepsilon_{cu}) \cdot \frac{d_s}{i \cdot (\varepsilon_{su} + \varepsilon_{cu}) \cdot \cos\beta} \cdot \frac{d_{p,0}}{i} \quad (7)$$

На основании условий равновесия между изгибающим моментом от внешних воздействий и воспринимаемым сечением после преобразования получим зависимость между моментом от внешних воздействий и прочностью сечения с учётом положения сечения:

$$\frac{q \cdot x \cdot (L - x)}{2} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot \eta_s \cdot d_s + A_p \cdot \sigma_{spu} \cdot \eta_p \cdot d_p \quad (8)$$

где  $A_{st}$  – площадь сечения обычной арматуры;  $A_p$  – площадь сечения напрягаемой арматуры, принятая по результатам расчёта участка 1;  $f_{yd}$  – величина напряжений в ненапрягаемой арматуре, соответствующая пределу текучести;  $\eta_p$ ,  $\eta_s$  – относительная величина плеча внутренней пары сил для напрягаемой и ненапрягаемой арматуры соответственно.

Выполнив преобразования и упрощения, можно получить выражение для определения требуемой площади сечения ненапрягаемой арматуры при известном количестве напрягаемой, определённой из расчёта на прочность по нормальным сечениям на участке 1. Расчётным будет то сечение, где площадь арматуры  $A_{st}(x)$  в выражение (8) равной нулю. В результате получается следующее выражение:

$$x_2 = \frac{q \cdot L - 2 \cdot A_p \cdot \sigma_{spu} \cdot \eta_p \cdot i \cdot \cos\beta}{2 \cdot q} \quad (9)$$

Данная формула имеет границы применимости: значение  $x$  ограничивается границами второго участка (13).

$$x_{2-3} \leq x \leq a \quad (10)$$

Для найденного сечения на втором участке производится проверка по прочности. В случае если установленной напрягаемой арматуры недостаточно, определяется сечение ненапрягаемой арматуры, которая необходима для выполнения условия прочности по нормальным сечениям.

На третьем участке деформации в напрягаемой арматуре не достигают предельных значений и их величина может быть определена из условия (1), а напряжения в напрягаемой арматуре  $\sigma_p$  определяются в зависимости от уровня этих деформаций по диаграмме деформирования для твердых сталей.

Проведя аналогичные преобразования как и для условия (8), можно получить формулу для определения местоположения расчётного сечения на третьем участке.

$$x_3 = \frac{q \cdot d_s \cdot L - E_p \cdot A_p \cdot \eta_p \cdot i \cdot \cos\beta \cdot (4 \cdot d_{p,0} \cdot \cos\beta \cdot (\varepsilon_{su} + \varepsilon_{cu}) - 2 \cdot \varepsilon_{cu} \cdot d_s)}{4 \cdot i^2 \cdot \cos^2\beta \cdot (\varepsilon_{su} + \varepsilon_{cu}) \cdot E_p \cdot A_p \cdot \eta_p - 2 \cdot q \cdot d_s} \quad (11)$$

При этом  $x_3$  находится в следующих пределах:

$$0 \leq x_3 \leq x_{2-3} \quad (12)$$

### **Выводы:**

1. При помощи вышеприведённых уравнений можно определить опасное сечение для каждого из участков двухскатной балки с ломаным нижним поясом. При этом на первом участке (в средней части балки) производится определение требуемого поперечного сечения напрягаемой арматуры. На втором и третьем участках производится проверка прочности по нормальным сечениям и определяется требуемая площадь сечения продольной арматуры.

2. Анализ результатов расчета прочности нормальных сечений, местоположение которых определялось по предложенным зависимостям (5), (9), (11), и их сопоставления с местоположением сечений, определенных пошаговым методом, показывает удовлетворительную сходимость (отклонения несущей способности не превышают 7%).

### **Список цитированных источников**

1. Конструкции промышленных зданий: учеб. пособие / Под. общ. ред. А.Н. Попова. – М.: Архитектура-С, 2007. – 304 с.
2. Малиновский, В.Н. Усовершенствованный вариант конструктивного решения железобетонных стропильных балок / В.Н. Малиновский, П.В. Кривицкий, Н.В. Матвеевко // Вестник БрГТУ 2013: сб. науч. ст. / БрГТУ. – Брест: БрГТУ, 2013. с. 128-132.
3. Двускатная балка [Текст]: пат. 20130180 Респ. Беларусь
4. Матвеевко, Н.В. Новое конструктивное решение каркаса одноэтажного производственного здания / Н.В. Матвеевко, В.Н. Малиновский // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов / БрГТУ; редкол.: В.С. Рубанов [и др.]. – Брест, 2013 – С. 248-252.

УДК 378.14(07)

*Мелконян Н.М., Горгун Т.П., Яковчиц А.О.*

*Научные руководители: доцент Житенева Н.С., ст. преподаватель Яромич Н.Н.*

## **ИНТЕГРИРОВАНИЕ ПРОГРАММ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР УСПЕХА**

Необходимость применения новых информационных технологий в учебном процессе связано с тем, что резко возрос объем необходимых знаний, изменились условия труда во многих отраслях и с помощью традиционных методов преподавания уже невозможно подготовить современных высокопрофессиональных специалистов. К тому же компьютерные технологии обучения способствуют повышению интереса молодежи к инженерному труду и творчеству. Все это требует новых методов и способов обучения специалистов современным приемам инженерного труда, а высокая конкурентоспособность инженерных кадров в рыночных условиях возможна при квалифицированной графической подготовке и свободном общении с компьютером.

### **Построение разверток с использованием математической модели графической системы AutoCAD**

AutoCAD – двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией Autodesk, может применяться для построения разверток различных поверхностей.