

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

**Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра будівельних конструкцій

«До друку»

Перший проректор

_____ проф. Б. Є. Боднар

ДЕРЕВ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ

**методичні вказівки до рішення задач з курсу
«Конструкції з дерева і пластмас»**

Укладач: канд. техн. наук Д. О. Банніков

Для студентів V курсу спеціальності
«Промислове та цивільне будівництво»
денної і заочної форм навчання

Дніпропетровськ

2006

Методичні вказівки містять п'ять задач з розрахунку елементів дерев'яних конструкцій. Метою їх вирішення є формування і закріплення у студента навичок щодо самостійного застосування методу граничних станів до розрахунку елементів дерев'яних конструкцій, а також роботи з нормативно-довідковою літературою з питань їх проектування.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності «Промислове та цивільне будівництво» при вивченні спеціалізованого курсу з проектування будівельних конструкцій - «Конструкції з дерева і пластмас».

Технічні терміни подані в авторській редакції.

В методичних вказівках частково використані матеріали методичних вказівок Ю. Н. Денищенко «Методические указания к выполнению практических занятий по курсу «Деревянные конструкции» (1980).

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. В. В. Кулябко (ПДАБА),
канд. техн. наук, доц. О. Л. Закора (ДПТ).

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Відповідно до вивчення студентами спеціальності «Промислове та цивільне будівництво» останнього спеціалізованого курсу з проектування будівельних конструкцій - «Конструкції з дерева і пластмас» - необхідно навчитись самостійно застосовувати набуті теоретичні знання до рішення практичних інженерних задач, спочатку – простіших, а в подальшому – комплексних (у курсовій роботі).

Дані методичні вказівки містять п'ять задач з розрахунку елементів дерев'яних конструкцій. Метою їх вирішення є формування і закріплення у студента навичок щодо самостійного застосування методу граничних станів до розрахунку елементів дерев'яних конструкцій (відповідно до діючого СНиП II-25-80 [1]), а також роботи з нормативно-довідковою літературою з питань їх проектування. Перші чотири задачі присвячені розрахункам за першою групою граничних станів, остання п'ята задача включає розрахунки за другою групою граничних станів. В додатках до методичних вказівок приведені необхідні при вирішенні задач довідкові матеріали разом із посиланнями на відповідні місця нормативної літератури.

Структурно кожна задача містить потрібні стислі теоретичні відомості з тематики розрахунків, методичні вказівки до їх проведення, а також числовий приклад розв'язання задачі. При вирішенні задач студентам рекомендується користуватися літературою, приведеною у бібліографічному списку в кінці методичних вказівок. Доцільно проводити послідовне рішення задач, оскільки такий порядок, по-перше, відповідає послідовності викладення теоретичного матеріалу на лекційних заняттях і, по-друге, наступна задача може містити формули або величини, докладний опис яких наведено у попередній задачі.

Вихідні дані до всіх задач наведені у додатку А та вибираються за індивідуальним шифром. Правила складання індивідуального шифру визначає викладач. Якщо вихідні дані вибрані невірно або з помилками, то завдання вважається недійсним та потребує переробки за вірним шифром.

Завдання має бути оформлено на стандартних аркушах формату А4 з дотриманням вимог чинних державних стандартів щодо оформлення проектної документації в будівництві. Невірно або неохайно оформлене завдання повертається студенту для доопрацювання.

ЗАДАЧА № 1.

Підібрати за першою групою граничних станів переріз центрально-розтягнутого елемента з отворами під циліндричні нагелі. Елемент захищений від зволоження і нагріву. Вихідні дані визначаються за табл. 1 додатку А.

Нормативні посилання

Відповідно до п. 4.1 СНиП II-25-80 [1] розрахунок центрально-розтягнутих елементів необхідно виконувати за формулою (1):

$$\frac{N}{F_{HT}} \leq R_p, \quad (1)$$

де N – розрахункова поздовжня сила,

F_{HT} – площа поперечного перерізу елемента «нето»,

R_p – розрахунковий опір деревини розтягу вздовж волокон.

Визначення величин у формулі (1) виконується за СНиП з урахуванням певних особливостей.

Так, при визначенні площі F_{HT} відповідно до п. 4.1 СНиП всі ослаблення, розташовані на довжині елемента до 200 мм, необхідно приймати суміщеними в одному перерізі.

Розрахунковий опір деревини R_p визначається за п. 3.1 СНиП (табл. 3), але якщо задана порода не є сосною (крім веймутової), ялиною, листяницею європейської або японської, то необхідно вводити перехідний коефіцієнт m_n (табл. 4).

Крім цього, відповідно до п. 3.2,и СНиП, якщо розтягнутий елемент має ослаблення в розрахунковому перерізі, то розрахунковий опір деревини необхідно множити на коефіцієнт $m_o = 0,8$.

Вказівки до вирішення задачі

За умовою задачі треба підібрати переріз центрально-розтягнутого елемента, який на певній ділянці ослаблений 5 отворами під циліндричні нагелі. Схема елемента наведена на рис. 1, розрахункова схема – на рис. 2.

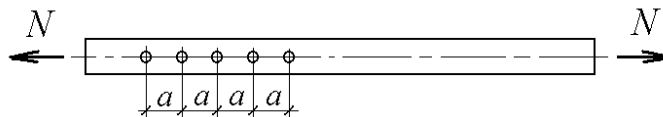


Рис. 1. Схема центрально-розтягнутого елемента.



Рис. 2. Розрахункова схема центрально-розтягнутого елемента.

Вихідні розрахункові дані визначаємо за табл. 1 додатку А.

Враховуючи, що площа ослаблень залежить від розмірів перерізу, який в свою чергу залежить від площі ослаблень, рішення задачі виконується за ітераційною схемою в наступній послідовності.

1. Визначаємо розрахунковий опір деревини R_p за табл. 1 додатку Б.

Для розтягнутих елементів дозволяється приймати деревину тільки 1-го сорту. Оскільки за умовою задачі розрахунковий елемент ослаблено отворами під циліндричні нагелі, то множимо знайдену величину опору R_p на коефіцієнт m_o . При необхідності врахування відповідної породи деревини додатково множимо отримане значення на перехідний коефіцієнт m_n за табл. 2 додатку Б.

2. З формули (1) визначаємо потрібну площу перерізу за виразом

$$F_{номр} \geq \frac{N}{R_p},$$

де величина поздовжньої сили N визначена за вихідними даними.

3. За сортаментом (додаток В) підбираємо за величиною $F_{номр}$ необхідний переріз та зображуємо його на ескізі (рис. 3). При цьому треба приймати найближчу більшу площу, яка є у сортаменті. Виписане значення площі приймаємо за величину площі «бруто» $F_{БР}$.

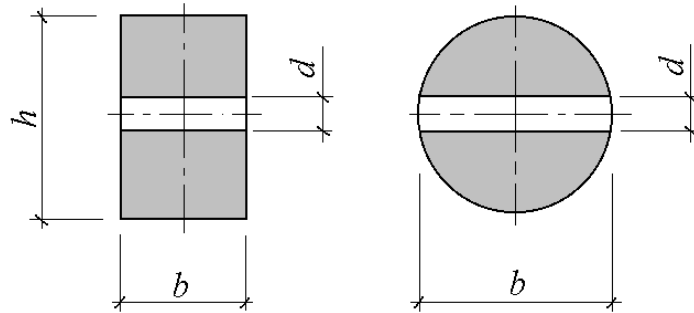


Рис. 3. Поперечний переріз елемента.

4. Визначаємо площу ослаблень перерізу $F_{осл}$ за виразом

$$F_{осл} = k \cdot b \cdot d,$$

де k – кількість отворів, що розташовані на довжині 200 мм елементу включно. При підрахунку отворів використовується величина кроку отворів a , визначена за вихідними даними;

b – ширина або діаметр підбраного перерізу (див. рис. 3);

d – діаметр отворів, визначений вихідними даними.

5. Знаходимо площу перерізу «нето» за виразом

$$F_{HT} = F_{БР} - F_{осл}$$

та виконуємо перевірку умови

$$F_{HT} \geq F_{номр}.$$

Якщо різниця складає не більше, ніж 2 % у менший бік, або 5 % у більший, переріз вважається підібраним економічно і вирішення задачі закінчується.

У випадку, якщо ця умова не виконується в більших межах проводимо повторний вибір перерізу (відповідно, з більшими або меншими розмірами) за пунктом 3. Далі проводимо повторне виконання пунктів 4 та 5. Цей ітераційний процес добору перерізу необхідно продовжувати до тих пір, поки умова пункту 5 не буде виконана у вказаних межах. Проміжні перерізи можна не зображувати на окремих ескізах, але остаточний переріз має бути показано обов'язково.

Слід відзначити, що бувають випадки, коли відповідно до умов сортаменту неможливо підібрати переріз з допусками $-2\% \dots +5\%$. Усі найближчі перерізи дають або недобір або перебір у більших межах. Тоді остаточно треба приймати такий переріз, який дає перебір за потрібною площею, оскільки саме він забезпечить виконання умови формули (1), хоча й буде дещо неекономічним.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- 1) Поздовжня сила $N = 110$ кН.
- 2) Діаметр отворів $d = 16$ мм $= 1,6$ см.
- 3) Крок отворів $a = 5d = 5 \cdot 16 = 80$ мм.
- 4) Тип перерізу – круг.
- 5) Порода деревини – бук.

Рішення виконуємо у визначеній послідовності.

1. Розрахунковий опір деревини за табл. 1 додатку Б для 1-го сорту при роботі неклеєного елемента на розтяг вздовж волокон $R_p = 10$ МПа. Для породи деревини бук за табл. 2 додатку Б визначаємо перехідний коефіцієнт $m_n = 1,1$ для розрахункового опору на розтяг. Враховуючи наявність ослаблень, остаточно маємо

$$R_p = R_p \cdot m_n \cdot m_o = 10 \cdot 1,1 \cdot 0,8 = 8,8 \text{ МПа} = 0,88 \text{ кН/см}^2.$$

2. Потрібна площа перерізу дорівнює

$$F_{\text{нотр}} \geq \frac{N}{R_p} = \frac{110}{0,88} = 125,0 \text{ см}^2.$$

3. За сортаментом (табл. 2 додатку В) підбираємо круглий переріз діаметром 13 см із площею $F_{BP} = 132,7 \text{ см}^2$, який зображуємо на ескізі (рис. 4).

4. Площа ослаблень перерізу дорівнює

$$F_{\text{осл}} = k \cdot b \cdot d = 3 \cdot 13 \cdot 1,6 = 62,4 \text{ см}^2.$$

5. Площа перерізу «нето» дорівнює

$$F_{HT} = F_{BP} - F_{\text{осл}} = 132,7 - 62,4 = 70,3 \text{ см}^2$$

та перевірка не виконується

$$F_{HT} = 70,3 \text{ см}^2 < F_{\text{нотр}} = 125,0 \text{ см}^2.$$

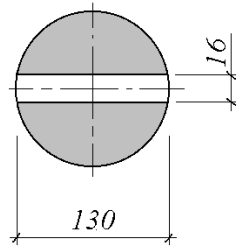


Рис. 4. Первісний підібраний поперечний переріз.

Недобір складає

$$\delta = \frac{F_{HT} - F_{номр}}{F_{номр}} \cdot 100 = \frac{70,3 - 125,0}{125,0} \cdot 100 = -43,8 \%,$$

тому переприймаємо наступний за сортаментом переріз та повторно проводимо розрахунки.

6. Для діаметру 14 см $F_{БР} = 153,9 \text{ см}^2$, тоді

$$F_{осл} = k \cdot b \cdot d = 3 \cdot 14 \cdot 1,6 = 67,2 \text{ см}^2 \text{ і } F_{HT} = F_{БР} - F_{осл} = 153,9 - 67,2 = 86,7 \text{ см}^2.$$

7. Для діаметру 15 см $F_{БР} = 176,7 \text{ см}^2$, тоді

$$F_{осл} = k \cdot b \cdot d = 3 \cdot 15 \cdot 1,6 = 72,0 \text{ см}^2 \text{ і } F_{HT} = F_{БР} - F_{осл} = 176,7 - 72,0 = 104,7 \text{ см}^2.$$

8. Для діаметру 16 см $F_{БР} = 201,1 \text{ см}^2$, тоді

$$F_{осл} = k \cdot b \cdot d = 3 \cdot 16 \cdot 1,6 = 76,8 \text{ см}^2 \text{ і } F_{HT} = F_{БР} - F_{осл} = 201,1 - 76,8 = 124,3 \text{ см}^2.$$

Недобір складає

$$\delta = \frac{F_{HT} - F_{номр}}{F_{номр}} \cdot 100 = \frac{124,3 - 125,0}{125,0} \cdot 100 = -0,6 \%,$$

що є допустимим. Остаточний підібраний переріз зображено на рис. 5.

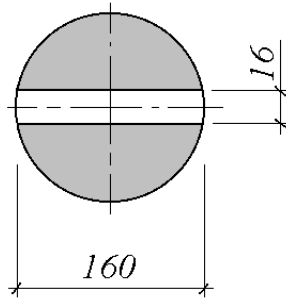


Рис. 5. Остаточний підібраний поперечний переріз.

На цьому рішення задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 2.

Підібрати за першою групою граничних станів переріз центрально-стиснутого елементу, захищеного від зволоження і нагріву. Вихідні дані визначаються за табл. 2 додатку А.

Нормативні посилання

Відповідно до п. 4.2 СНиП II-25-80 [1] розрахунок центрально-стиснутих елементів постійного цільного перерізу необхідно виконувати за формулами (2) і (3):

а) на міцність

$$\frac{N}{F_{HT}} \leq R_c, \quad (2)$$

б) на стійкість

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{розр}} \leq R_c, \quad (3)$$

де N – розрахункова поздовжня сила,

F_{HT} – площа поперечного перерізу елементу «нето»,

$F_{розр}$ – розрахункова площа поперечного перерізу елементу,

R_c – розрахунковий опір деревини стиску вздовж волокон,

φ – коефіцієнт поздовжнього згину.

Визначення величин у формулах (2), (3) виконується за СНиП з урахуванням певних особливостей.

Так, при відсутності ослаблень перерізу елементу розрахункова площа і площа «нето» приймається рівними площі «бруто»: $F_{розр} = F_{HT} = F_{БР}$.

Коефіцієнт поздовжнього згину φ відповідно до п. 4.3 СНиП треба визначати за формулами (4) і (5):

а) якщо $\lambda \leq 70$

$$\varphi = 1 - a \cdot \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2, \quad (4)$$

б) якщо $\lambda > 70$

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2}, \quad (5)$$

де a – коефіцієнт, що дорівнює 0,8 для деревини,

A - коефіцієнт, що дорівнює 3000 для деревини,
 λ - гнучкість елемента, яка для елемента цільного перерізу визначається за п. 4.4 СНИП по формулі (6):

$$\lambda = \frac{l_0}{r_{\min}}, \quad (6)$$

де $r_{\min}$ – мінімальний радіус інерції перерізу елемента, який визначається за стандартними формулами опору матеріалу,

l_0 – розрахункова довжина елемента, яка визначається за п. 4.5 СНИП по формулі (7):

$$l_0 = l \cdot \mu_0, \quad (7)$$

де μ_0 – коефіцієнт, який залежить від умов закріплення елемента та визначається за п. 4.21 СНИП:

- при обох шарнірно-закріплених кінцях $\mu_0 = 1$,
- при одному шарнірно-закріпленому кінці і другому жорстко закріпленому $\mu_0 = 0,8$,
- при одному жорстко закріпленому кінці і другому вільному $\mu_0 = 2,2$,
- при обох жорстко-закріплених кінцях $\mu_0 = 0,65$.

Відповідно до п. 4.21 СНИП (табл. 14) існує додаткова умова (8) для стиснутих стійок гнучкість не може перевищувати допустимої величини:

$$\lambda \leq \lambda_{\max} = 120. \quad (8)$$

Розрахунковий опір деревини R_c визначається за п. 3.1 СНИП (табл. 3) з введенням при необхідності перехідного коефіцієнту m_n (табл. 4), як у попередній задачі.

Вказівки до вирішення задачі

За умовою задачі треба підібрати переріз центрально-стиснутого елемента. Схема елемента наведена на рис. 6, розрахункова схема – визначається способом закріплення кінців, відповідно до вихідних даних.

Вихідні розрахункові дані визначаємо за табл. 2 додатку А.

Враховуючи, що коефіцієнт поздовжнього згину елемента залежить від розмірів його перерізу, який в свою чергу залежить від цього коефіцієнту, традиційно цю задачу вирішують за ітераційною схемою. Спочатку задаються коефіцієнтом φ в певних межах, потім визначають необхідну площу перерізу і за сортаментом виконують його підбір. Далі знаходять потрібні геометричні характеристики підбраного перерізу, перевіряють умови (2), (3) і (8) та при їх невиконання змінюють розміри, проводячи повторні обчислення.

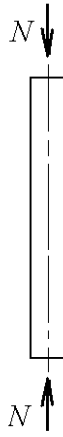


Рис. 6. Схема центрально-стиснутого елемента.

Однак, проаналізувавши всі умови, яким має задовольняти центрально-стиснутий елемент, рішення може бути значно спрощено.

Підібраний переріз центрально-стиснутого елемента має задовольняти умовам міцності (2) і стійкості (3) та (8). Оскільки в даному випадку при відсутності ослаблень площі перерізу «нето» і «бруто» дорівнюють одна одній, а коефіцієнт $\varphi < 1$ завжди, то визначаючою при доборі перерізу елемента будуть умови стійкості (3) та (8). Якщо вони будуть виконуватись, то умова міцності (2) теж буде виконуватись автоматично. Тому, рішення задачі виконується в наступній послідовності.

1. Визначаємо розрахунковий опір деревини R_c за табл. 1 додатку Б.

Для стиснутих елементів дозволяється приймати деревину тільки 2-го сорту. При необхідності врахування відповідної породи деревини додатково множимо отримане значення на перехідний коефіцієнт m_{π} за табл. 2 додатку Б, як у попередній задачі.

2. Знаходимо величину мінімально допустимого радіуса інерції перерізу елемента r_{min} , використовуючи вирази (6) ... (8)

$$r_{min} \geq \frac{l \cdot \mu_0}{\lambda_{max}},$$

де довжина стійки l визначена за вихідними даними.

3. З іншого боку, мінімальний радіус інерції перерізу елемента r_{min} за стандартними формулами опору матеріалу дорівнює

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{F_{BP}}},$$

де I_{min} – мінімальний момент інерції перерізу, який для круглого перерізу визначається за формулою

$$I_{min} = \frac{\pi \cdot b^4}{64},$$

а для прямокутного перерізу дорівнює

$$I_{min} = \frac{b^3 \cdot h}{12},$$

де b – діаметр круглого перерізу або менший розмір прямокутного (рис. 7).

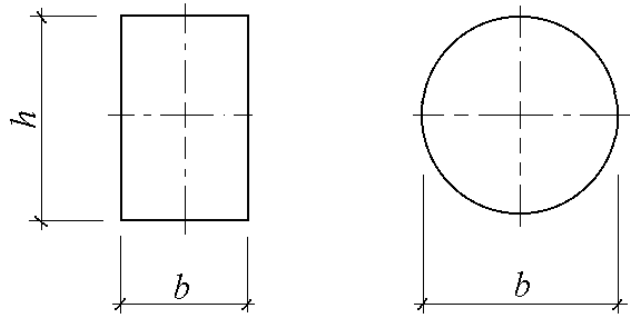


Рис. 7. Поперечний переріз елемента.

Далі, підставивши вираз для $I_{\min}$ у вираз для $r_{\min}$, розписавши вираз для площі $F_{\text{БР}}$ та виконавши проміжні перетворення, остаточно будемо мати для круглого перерізу

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F_{\text{БР}}}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot b^4 \cdot 4}{64 \cdot \pi \cdot b^2}} = 0,25 \cdot b,$$

для прямокутного перерізу

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F_{\text{БР}}}} = \sqrt{\frac{b^3 \cdot h}{12 \cdot b \cdot h}} = 0,289 \cdot b.$$

З цих виразів знайдемо мінімально допустимий розмір $b_{\min}$ круглого або прямокутного перерізів, відповідно

$$b_{\min} = \frac{r_{\min}}{0,25} \quad \text{і} \quad b_{\min} = \frac{r_{\min}}{0,289}.$$

4. За сортаментом (додаток В) підбираємо за величиною b необхідний переріз та зображуємо його на ескізі (див. рис. 7). При цьому треба приймати найближчий більший розмір, який є у сортаменті.

Приймаючи прямокутний переріз доцільно вибирати його за формою наближеною до квадрату, оскільки саме така форма є найбільш економічною при роботі на стиск.

Зазначимо, також, що у випадку, коли за умовами задачі (найчастіше це стосується консольного закріплення елемента) не вистачає перерізів за сортаментом, дозволяється приймати складений переріз із декількох перерізів, наведених у сортаменті.

5. Визначаємо мінімальний радіус інерції підбраного перерізу $r_{\min}$ за виразами пункту 3.

6. Знаходимо гнучкість підбраного елемента за виразами (6) і (7) та перевіряємо виконання умови (8).

7. Обчислюємо коефіцієнт поздовжнього згину за формулою (4) або (5).

8. Остаточно перевіряємо виконання умови стійкості (3) та робимо загальний висновок відносно економічності підбраного перерізу.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- 1) Поздовжня сила $N = 60$ кН.
- 2) Довжина стійки $l = 3,5$ м = 350 см.
- 3) Закріплення кінців стійки – консоль.
- 4) Тип перерізу – прямокутник.
- 5) Порода деревини – ялина.

Рішення виконуємо у визначеній послідовності.

1. Розрахунковий опір деревини за табл. 1 додатку Б для 2-го сорту при роботі на стиск вздовж волокон $R_c = 13$ МПа. При цьому приймаємо найменше значення за п. 1,а, оскільки розміри прямокутного перерізу поки що невідомі.

Для породи деревини ялина перехідний коефіцієнт m_{Π} вводити не треба (див. примітку до табл. 2 додатку Б), тому остаточно маємо

$$R_c = 13 \text{ МПа} = 1,3 \text{ кН/см}^2.$$

2. Величина мінімально допустимого радіуса інерції перерізу дорівнює

$$r_{\min} \geq \frac{l \cdot \mu_0}{\lambda_{\max}} = \frac{350 \cdot 2,2}{120} = 6,42 \text{ см.}$$

3. Мінімально допустимий розмір перерізу дорівнює

$$b_{\min} = \frac{r_{\min}}{0,289} = \frac{6,42}{0,289} = 22,2 \text{ см.}$$

4. За сортаментом (табл. 1 додатку В) підбираємо найближчий більший переріз із розмірами 25×25 см з площею $F_{BP} = 625,0 \text{ см}^2$, який зображуємо на ескізі (рис. 8).

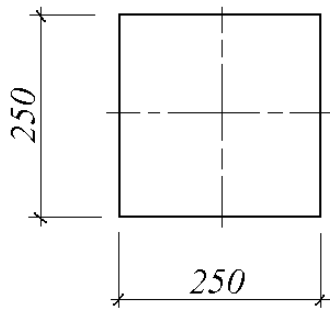


Рис. 8. Підібраний поперечний переріз.

5. Мінімальний радіус інерції підбраного перерізу дорівнює

$$r_{\min} = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 25 = 7,23 \text{ см.}$$

6. Гнучкість підбраного елемента дорівнює

$$\lambda = \frac{l \cdot \mu_0}{r} = \frac{350 \cdot 2,2}{7,23} = 107 < \lambda_{\max} = 120.$$

7. Коефіцієнт поздовжнього згину для підбраного елемента при $\lambda > 70$ дорівнює

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2} = \frac{3000}{107^2} = 0,262.$$

8. Перевіряємо виконання умови стійкості

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{розр}} = \frac{60}{0,262 \cdot 625} = 0,36 \text{ кН/см}^2 < R_c = 1,3 \text{ кН/см}^2.$$

Запаси за стійкістю досить великі, але зменшити переріз в даному випадку не можна, оскільки тоді гнучкість буде перевищувати допустиму.

На цьому рішення задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 3.

Підібрати за першою групою граничних станів прямокутний переріз згинального елемента, захищеного від зволоження і нагріву. Вихідні дані визначаються за табл. 3 додатку А.

Нормативні посилання

Відповідно до пп. 4.9, 4.10 і 4.14 СНиП II-25-80 [1] розрахунок згинальних елементів необхідно виконувати за формулами (9), (10) і (11), відповідно:

а) на міцність за нормальними напруженнями

$$\frac{M}{W_{розр}} \leq R_z, \quad (9)$$

б) на міцність за дотичними напруженнями (міцність по сколюванню)

$$\frac{Q \cdot S_{бр}}{I_{бр} \cdot b_{розр}} \leq R_{ск}, \quad (10)$$

в) на стійкість плоскої форми деформування

$$\frac{M}{\varphi_M \cdot W_{бр}} \leq R_z. \quad (11)$$

де M – розрахунковий згинальний момент,

$W_{розр}$ – розрахунковий момент опору поперечного перерізу елемента, який для цільного елемента дорівнює моменту опору «бруто» $W_{розр} = W_{бр}$,

Q – розрахункова поперечна сила,

$S_{бр}$ – статичний момент «бруто» частини поперечного перерізу, що зсувається, відносно нейтральної вісі,

$I_{бр}$ – момент інерції «бруто» поперечного перерізу елемента відносно нейтральної вісі,

$b_{розр}$ – розрахункова ширина перерізу елемента, яка для цільного елемента дорівнює його геометричній ширині b ,

φ_M – коефіцієнт, який для згинальних шарнірно опертих елементів прямокутного перерізу визначається за формулою (12) згідно п. 4.14 СНиП:

$$\varphi_M = 140 \cdot \frac{b^2}{L \cdot h} \cdot k_\phi, \quad (12)$$

k_ϕ – коефіцієнт, який залежить від форми епюри згинального моменту і визначається за табл. 2 додатку 4 СНиП,

R_3 – розрахунковий опір деревини згину,
 $R_{ск}$ – розрахунковий опір деревини сколюванню вздовж волокон при згині.

Розрахункові опори деревини R_3 і $R_{ск}$ визначаються за п. 3.1 СНиП (табл. 3) з введенням при необхідності перехідного коефіцієнту m_n (табл. 4), як у попередніх задачах.

Вказівки до вирішення задачі

За умовою задачі треба підібрати переріз згинального елемента, який навантажений рівномірно розподіленим навантаженням інтенсивністю q і має шарнірне закріплення по кінцях. Розрахункова схема елемента наведена на рис. 9. Переріз елемента прямокутний і має фіксоване відношення ширини b до висоти h (рис. 10), яке визначається коефіцієнтом β за вихідними даними.

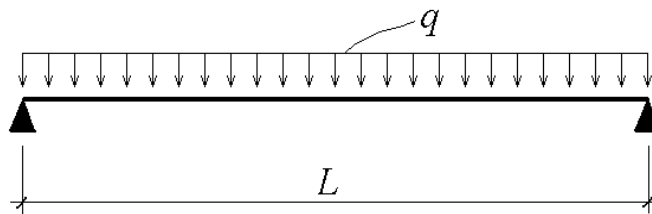


Рис. 9. Розрахункова схема згинального елемента.

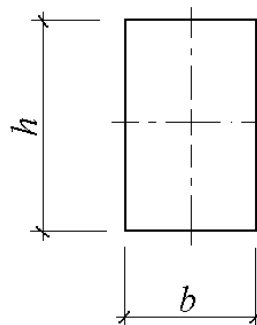


Рис. 10. Переріз згинального елемента.

Вихідні розрахункові дані визначаємо за табл. 3 додатку А.

Підібраний переріз згинального елемента має задовольняти умовам міцності (9) і (10) та стійкості (11). Як правило, визначальною є умова міцності за нормальними напруженнями (9), за якою і будемо виконувати підбір перерізу в наступній послідовності.

1. Визначаємо розрахункові опори деревини R_3 і $R_{ск}$ за табл. 1 додатку Б.

Для згинальних елементів дозволяється приймати деревину тільки 2-го сорту. При необхідності врахування відповідної породи деревини додатково множимо отримані значення на перехідний коефіцієнт m_n за табл. 2 додатку Б, як у попередніх задачах.

2. Для вказаної на рис. 9 розрахункової схеми епюри поперечної сили Q і згинального моменту M будуть мати вигляд, представлений на рис. 11.

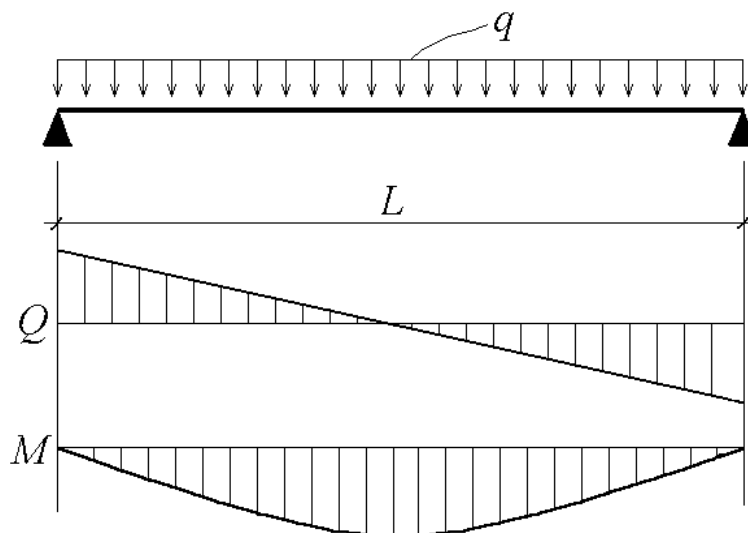


Рис. 11. Епюри внутрішніх зусиль у згинальному елементі.

Максимальні значення внутрішніх зусиль знаходимо за відомими формулами опору матеріалів

$$Q = \frac{q \cdot L}{2} \quad \text{і} \quad M = \frac{q \cdot L^2}{8},$$

де величини прольоту згинального елемента L і зовнішнього навантаження q визначені за вихідними даними.

3. З формули (9) враховуючи, що момент опору дорівнює

$$W_{\text{розр}} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

і розміри перерізу пов'язані між собою через коефіцієнт $\beta = b/h$, остаточно отримаємо вираз для знаходження потрібної висоти перерізу

$$h_{\text{номр}} \geq \sqrt[3]{\frac{6 \cdot M}{\beta \cdot R_3}}.$$

Тоді потрібна ширина перерізу буде дорівнювати $b_{\text{номр}} = \beta \cdot h_{\text{номр}}$.

4. За сортаментом (табл. 1 додатку В) підбираємо за величинами $b_{\text{номр}}$ і $h_{\text{номр}}$ необхідні розміри перерізу таким чином, щоб максимально витримувалося їх співвідношення, задане коефіцієнтом β . При цьому можливо приймати один розмір більшим за визначений потрібний, а інший – меншим.

Зображуємо підібраний переріз на ескізі (див. рис. 10).

5. Розраховуємо необхідні геометричні характеристики підбраного перерізу за виразами

$$S_{\text{оп}} = \frac{b \cdot h^2}{8}, \quad I_{\text{оп}} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{і} \quad W_{\text{оп}} = \frac{b \cdot h^2}{6}.$$

6. Перевіряємо виконання умови міцності (9).

Якщо різниця складає не більше, ніж 2 % у менший бік, або 5 % у більший, то переріз вважається підібраним економічно. У противному випадку, виконуємо повторний вибір перерізу (відповідно, з більшими або меншими

розмірами) за пунктом 4. Далі, обчислюємо геометричні характеристики нового перерізу за пунктом 5 та знов виконуємо перевірку умови (9). Такий ітераційний процес необхідно продовжувати до тих пір, доки переріз не буде підбрано максимально економічно.

Остаточного прийнятий переріз зображуємо на ескізі.

7. Перевіряємо виконання умови міцності за сколюванням (10). У випадку її не виконання треба прийняти новий переріз із більшими розмірами та з урахуванням умов економічності, як у пункті 6.

8. Обчислюємо коефіцієнт φ_M за формулою (12), підставляючи розміри остаточно прийнятого за пунктом 6 або 7 перерізу. Коефіцієнт $k_\phi = 1,13$ для розглянутого у задачі випадку.

9. Остаточного перевіряємо виконання умови стійкості (11). У випадку її не виконання слід діяти, як вказано в пункті 6.

Робимо загальний висновок відносно економічності підбраного перерізу.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- 1) Проліт $L = 3,0 \text{ м} = 300 \text{ см}$.
- 2) Навантаження $q = 5,0 \text{ кН/м}$.
- 3) Коефіцієнт $\beta = 0,4$.
- 4) Порода деревини – ясень.

Рішення виконуємо у визначеній послідовності.

1. Розрахункові опори деревини за табл. 1 додатку Б для 2-го сорту:
 - при роботі на згин вздовж волокон $R_3 = 13 \text{ МПа}$;
 - при роботі неклеєного елемента на сколювання вздовж волокон при згині $R_{ск} = 1,6 \text{ МПа}$.

Для породи деревини ясень за табл. 2 додатку Б визначаємо перехідні коефіцієнти окремо для розрахункового опору на згин $m_n = 1,3$ і на сколювання $m_{ск} = 1,6$. Таким чином, остаточно маємо

$$R_3 = R_3 \cdot m_n = 13 \cdot 1,3 = 16,9 \text{ МПа} = 1,69 \text{ кН/см}^2.$$

$$R_{ск} = R_{ск} \cdot m_{ск} = 1,6 \cdot 1,6 = 2,56 \text{ МПа} = 0,26 \text{ кН/см}^2.$$

2. Максимальні значення внутрішніх зусиль дорівнюють

$$Q = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{5,0 \cdot 3,0}{2} = 7,5 \text{ кН} \quad \text{і} \quad M = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{5,0 \cdot 3,0^2}{8} = 5,63 \text{ кН} \cdot \text{м} = 563 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

3. Потрібна висота перерізу дорівнює

$$h_{номр} \geq \sqrt[3]{\frac{6 \cdot M}{\beta \cdot R_3}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 563}{0,4 \cdot 1,69}} = 17,1 \text{ см}.$$

Потрібна ширина перерізу дорівнює

$$b_{номр} = \beta \cdot h_{номр} = 0,4 \cdot 17,1 = 6,84 \text{ см}.$$

4. За сортаментом (табл. 1 додатку В) підбираємо переріз із розмірами $6,0 \times 17,5 \text{ см}$. Підібраний переріз зображуємо на ескізі (рис. 12).

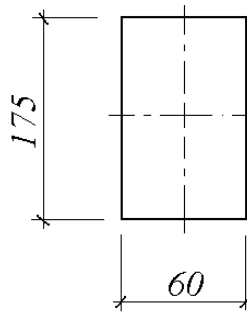


Рис. 12. Первісний підібраний поперечний переріз.

5. Геометричні характеристики підбраного перерізу дорівнюють

$$S_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^2}{8} = \frac{6,0 \cdot 17,5^2}{8} = 230 \text{ см}^3,$$

$$I_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{6,0 \cdot 17,5^3}{12} = 2680 \text{ см}^4,$$

$$W_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{6,0 \cdot 17,5^2}{6} = 306 \text{ см}^3.$$

6. Перевіряємо виконання умови міцності

$$\frac{M}{W_{\text{розр}}} = \frac{563}{306} = 1,84 \text{ кН/см}^2 > R_3 = 1,69 \text{ кН/см}^2,$$

тобто умова не виконується.

Приймаємо наступний переріз за сортаментом із розмірами 7,5×17,5 см і знов обчислюємо геометричні характеристики нового перерізу

$$S_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^2}{8} = \frac{7,5 \cdot 17,5^2}{8} = 287 \text{ см}^3,$$

$$I_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{7,5 \cdot 17,5^3}{12} = 3350 \text{ см}^4,$$

$$W_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{7,5 \cdot 17,5^2}{6} = 383 \text{ см}^3.$$

Перевіряємо виконання умови міцності

$$\frac{M}{W_{\text{розр}}} = \frac{563}{383} = 1,47 \text{ кН/см}^2 < R_3 = 1,69 \text{ кН/см}^2.$$

Умова виконується, але не досить економічно. Недонапруження складає

$$\delta = \frac{R_3 - R}{R_3} \cdot 100 = \frac{1,69 - 1,47}{1,69} \cdot 100 = +13,0\%.$$

Спробуємо зменшити висоту до найближчої за сортаментом – 7,5×15 см. Геометричні характеристики цього перерізу

$$S_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^2}{8} = \frac{7,5 \cdot 15^2}{8} = 211 \text{ см}^3,$$

$$I_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{7,5 \cdot 15^3}{12} = 2109 \text{ см}^4,$$

$$W_{\bar{o}p} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{7,5 \cdot 15^2}{6} = 281 \text{ см}^3.$$

Перевіряємо виконання умови міцності

$$\frac{M}{W_{\text{розр}}} = \frac{563}{281} = 2,00 \text{ кН/см}^2 > R_3 = 1,69 \text{ кН/см}^2.$$

Таким чином, остаточно приймаємо переріз із розмірами $7,5 \times 17,5$ см (рис.13).

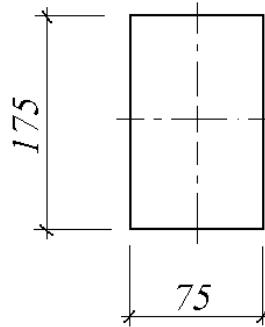


Рис. 13. Остаточний підібраний поперечний переріз.

7. Перевіряємо виконання умови міцності за сколюванням

$$\frac{Q \cdot S_{\bar{o}p}}{I_{\bar{o}p} \cdot b_{\text{розр}}} = \frac{7,5 \cdot 287}{3350 \cdot 7,5} = 0,09 \text{ кН/см}^2 < R_{ск} = 0,26 \text{ кН/см}^2.$$

Умова виконується і підібраний переріз задовольняє вимогам міцності за сколюванням.

8. Коефіцієнт ϕ_M дорівнює

$$\phi_M = 140 \cdot \frac{b^2}{L \cdot h} \cdot k_\phi = 140 \cdot \frac{7,5^2}{300 \cdot 17,5} \cdot 1,13 = 1,70.$$

9. Перевіряємо виконання умови стійкості

$$\frac{M}{\phi_M \cdot W_{\bar{o}p}} = \frac{563}{1,70 \cdot 383} = 0,86 \text{ кН/см}^2 < R_3 = 1,69 \text{ кН/см}^2.$$

Запаси за сколюванням і за стійкістю досить великі, але зменшити розміри перерізу в даному випадку не можна, оскільки тоді не буде виконуватись умова міцності за нормальними напруженнями.

На цьому рішення задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 4.

Перевірити на відповідність вимогам СНиП II-25-80 [1] за першою групою граничних станів заданий елемент, який знаходиться під дією центрально-стискаючої сили і згинального моменту. Елемент захищений від зволоження і нагріву. Вихідні дані визначаються за табл. 4 додатку А.

Нормативні посилання

Відповідно до СНиП II-25-80 [1] елементи, які знаходяться під дією центрально-стискаючої сили і згинального моменту, мають задовольняти умовам міцності і стійкості за формулами (13) ... (16):

а) міцність в площині дії згинального моменту (п. 4.17 СНиП)

$$\frac{N}{F_{розр}} + \frac{M}{W_{розр} \cdot \xi} \leq R_c, \quad (13)$$

б) стійкість в площині дії згинального моменту (п. 4.18 СНиП)

$$\frac{N}{\varphi_Y \cdot F_{БР} \cdot R_c} + \left(\frac{M}{\varphi_M \cdot W_{БР} \cdot \xi \cdot R_3} \right)^2 \leq 1, \quad (14)$$

в) стійкість в площині, перпендикулярній дії згинального моменту (п. 4.17 СНиП)¹

$$\frac{N}{\varphi_Z \cdot F_{розр}} \leq R_c, \quad (15)$$

г) величина гнучкості (п. 4.21 СНиП)²

$$\lambda \leq \lambda_{макс} = 120, \quad (16)$$

де N – розрахункова поздовжня сила,

M – розрахунковий згинальний момент,

$F_{розр}$ – розрахункова площа поперечного перерізу елемента, яка при відсутності ослаблень перерізу приймається рівною площі «бруто»: $F_{розр} = F_{БР}$,

$W_{розр}$ – розрахунковий момент опору поперечного перерізу елемента, який при відсутності ослаблень перерізу приймається рівним моменту опору «бруто» $W_{розр} = W_{БР}$,

¹ Ця умова співпадає з умовою (3) для центрально-стиснутих елементів.

² Ця умова співпадає з умовою (8) для центрально-стиснутих елементів.

φ_Y, φ_Z - коефіцієнти поздовжнього згину в площині дії згинального моменту і в площині, перпендикулярній дії згинального моменту, які визначається за методикою докладно описаною у задачі № 2 за формулами (4) і (5),

φ_M – коефіцієнт, який визначається за формулою (12) задачі № 3,

λ - гнучкість елемента, яка визначається за методикою докладно описаною у задачі № 2 за формулами (6) і (7),

ξ - коефіцієнт, який враховує додатковий момент від дії поздовжньої сили внаслідок прогину елемента і визначається відповідно п. 4.17 СНиП за формулою (17):

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi \cdot F_{BP} \cdot R_c}, \quad (17)$$

R_c – розрахунковий опір деревини стиску вздовж волокон,

R_z – розрахунковий опір деревини згину.

Розрахункові опори деревини R_c і R_z , як і раніше, визначаються за п. 3.1 СНиП (табл. 3) з введенням при необхідності перехідного коефіцієнту m_n (табл. 4), як у попередніх задачах.

Вказівки до вирішення задачі

За умовою задачі треба перевірити на відповідність вимогам (13) ... (16) заданий елемент з прямокутним перерізом, який знаходиться під дією центрально-стискаючої сили і згинального моменту, прикладеного у горизонтальній площині переріза (Z-Z).

Схема елемента наведена на рис. 14, переріз елемента – на рис. 15, розрахункова схема – визначається способом закріплення кінців, відповідно до вихідних даних.



Рис. 14. Схема елемента
під дією поздовжньої сили і згинального моменту.

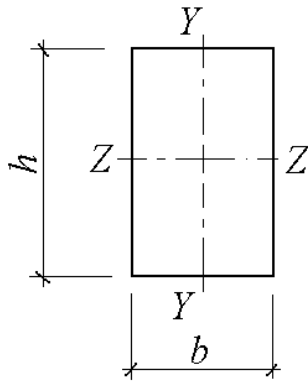


Рис. 15. Переріз елемента
під дією поздовжньої сили і згинального моменту.

Вихідні розрахункові дані визначаємо за табл. 4 додатку А. При цьому треба витримати послідовність завдання розмірів перерізу, де перша цифра означає ширину b , а друга – висоту h . Заданий переріз зображуємо на ескізі (див. рис. 15).

Перевірку заданого елемента виконуємо в наступній послідовності.

1. Визначаємо розрахункові опори деревини R_c і R_z , як і раніше, за табл. 1 додатку Б.

Для стиснутих і згинальних елементів дозволяється приймати деревину тільки 2-го сорту. При необхідності врахування відповідної породи деревини додатково множимо отримані значення на перехідний коефіцієнт m_n за табл. 2 додатку Б, як у попередніх задачах.

2. Розраховуємо необхідні геометричні характеристики заданого перерізу за виразами (площа, момент опору, радіуси інерції)

$$F_{розр} = F_{БР} = b \cdot h, \quad W_{розр} = W_{БР} = \frac{b^2 \cdot h}{6},$$

$$r_Y = 0,289 \cdot b, \quad r_Z = 0,289 \cdot h.$$

3. Знаходимо гнучкості елемента в обох площинах за виразами

$$\lambda_Y = \frac{l \cdot \mu_0}{r_Y}, \quad \lambda_Z = \frac{l \cdot \mu_0}{r_Z},$$

де коефіцієнт μ_0 , який залежить від умов закріплення елемента, визначається як рекомендовано в задачі № 2, а довжина елемента l визначається вихідними даними.

Перевіряємо виконання умови гнучкості (16).

4. Знаходимо коефіцієнти поздовжнього згину φ_Y, φ_Z за виразами

$$\varphi_Y = 1 - a \cdot \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \quad \text{для} \quad \frac{\lambda_Y}{\lambda_Z} \leq 70,$$

$$\varphi_Y = \frac{A}{\lambda^2} \quad \text{для} \quad \frac{\lambda_Y}{\lambda_Z} > 70.$$

Коефіцієнти дорівнюють $a = 0,8, A = 3000$.

Знаходимо коефіцієнт φ_M за виразом

$$\varphi_M = 140 \cdot \frac{h^2}{l \cdot b} \cdot k_\phi,$$

приймаючи коефіцієнт $k_\phi = 1$ для даного випадку.

Обчислюємо коефіцієнт ξ за виразом

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi_Y \cdot F_{BP} \cdot R_c}.$$

5. Перевіряємо виконання умов (13), (14) і (15), де величини поздовжньої сили N і згинального моменту M визначаються за вихідними даними.

Робимо загальний висновок відносно відповідності вимогам першої групи граничних станів за СНиП II-25-80 [1] заданого елемента та його економічності. У негативному висновку, також, необхідно привести рекомендації щодо покращення ситуації.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- 1) Поздовжня сила $N = 35$ кН.
- 2) Згинальний момент $M = 20$ кН·м = 2000 кН·см.
- 3) Закріплення кінців стійки – жорстке+жорстке.
- 4) Довжина стійки $l = 4,2$ м = 420 см.
- 5) Порода деревини – осина.
- 6) Переріз $b \times h = 22,5 \times 17,5$ см (рис. 16).

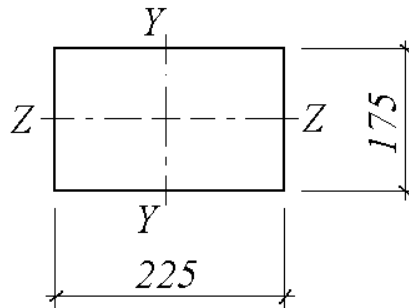


Рис. 16. Заданий переріз елемента.

Рішення виконуємо у визначеній послідовності.

1. Розрахункові опори деревини за табл. 1 додатку Б для 2-го сорту при роботі на стиск і згин вздовж волокон $R_c = R_z = 15$ МПа (п. 1,в).

Для породи деревини осина за табл. 2 додатку Б перехідний коефіцієнт для розрахункових опорів на стиск і на згин $m_n = 0,8$. Таким чином, остаточно маємо

$$R_c = R_z = R_c \cdot m_n = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ МПа} = 1,2 \text{ кН/см}^2.$$

2. Геометричні характеристики заданого перерізу дорівнюють

$$F_{розр} = F_{БР} = b \cdot h = 22,5 \cdot 17,5 = 394 \text{ см}^2, \quad W_{розр} = W_{БР} = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{22,5^2 \cdot 17,5}{6} = 1477 \text{ см}^3,$$

$$r_Y = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 22,5 = 6,50 \text{ см}, \quad r_Z = 0,289 \cdot h = 0,289 \cdot 17,5 = 5,06 \text{ см}.$$

3. Гнучкості елемента дорівнюють

$$\lambda_Y = \frac{l \cdot \mu_0}{r_Y} = \frac{420 \cdot 0,65}{6,50} = 42 \leq \lambda_{\text{макс}} = 120, \quad \lambda_Z = \frac{l \cdot \mu_0}{r_Z} = \frac{420 \cdot 0,65}{5,06} = 54 \leq \lambda_{\text{макс}} = 120,$$

тобто умова гнучкості виконується.

4. Коефіцієнти поздовжнього згину дорівнюють

$$\varphi_Y = 1 - a \cdot \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \cdot \left(\frac{42}{100} \right)^2 = 0,858, \\ \varphi_Z = 1 - a \cdot \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \cdot \left(\frac{54}{100} \right)^2 = 0,767.$$

Коефіцієнт φ_M дорівнює

$$\varphi_M = 140 \cdot \frac{h^2}{l \cdot b} \cdot k_\phi = 140 \cdot \frac{17,5^2}{420 \cdot 22,5} \cdot 1 = 4,54.$$

Коефіцієнт ξ дорівнює

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi_Y \cdot F_{BP} \cdot R_c} = 1 - \frac{35}{0,858 \cdot 394 \cdot 1,2} = 0,91.$$

5. Перевіряємо виконання умов міцності і стійкості

$$\frac{N}{F_{розр}} + \frac{M}{W_{розр} \cdot \xi} = \frac{35}{394} + \frac{2000}{1477 \cdot 0,91} = 1,58 \text{ кН/см}^2 > R_c = 1,2 \text{ кН/см}^2,$$

умова не виконується;

$$\frac{N}{\varphi_Y \cdot F_{BP} \cdot R_c} + \left(\frac{M}{\varphi_M \cdot W_{BP} \cdot \xi \cdot R_s} \right)^2 = \frac{35}{0,858 \cdot 394 \cdot 1,2} + \left(\frac{2000}{4,54 \cdot 1477 \cdot 0,91 \cdot 1,2} \right)^2 = 0,16 \leq 1,$$

умова виконується;

$$\frac{N}{\varphi_Z \cdot F_{розр}} = \frac{35}{0,767 \cdot 394} = 0,12 \text{ кН/см}^2 < R_c = 1,2 \text{ кН/см}^2,$$

умова виконується.

Таким чином, заданий елемент відповідає вимогам СНиП II-25-80 в частині гнучкості і стійкості в площині дії згинального моменту та перпендикулярній до неї площині. При цьому маємо досить значний запас (3-10 разів). Однак, умова міцності в площині дії згинального моменту не виконується. Перевищення при цьому незначне.

В якості рекомендації щодо покращення ситуації можна навести наступне – рекомендувати розвернути переріз елемента на кут 90° , так щоб збільшити момент опору перерізу.

На цьому рішення задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 5.

Перевірити на відповідність вимогам СНиП II-25-80 [1] за другою групою граничних станів заданий згинальний елемент, захищений від зволоження і нагріву. Вихідні дані визначаються за табл. 5 додатку А.

Нормативні посилання

Відповідно до п. 4.33 СНиП II-25-80 [1] найбільший прогин згинальних елементів необхідно визначати за формулою (18):

$$f = \frac{f_0}{k} \cdot \left[1 + c \cdot \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right], \quad (18)$$

де f_0 – прогин балки постійного перерізу висотою h ,

h – найбільша висота перерізу балки у випадку змінного перерізу,

L – проліт балки,

k – коефіцієнт, який враховує вплив змінності висоти перерізу балки,

c – коефіцієнт, який враховує вплив деформацій зсуву.

Знайдений за формулою (18) прогин має не перевищувати граничних величин $[f]$, визначених відповідними нормативними документами (19):

$$f \leq [f]. \quad (19)$$

В протилежному випадку необхідно змінювати один або декілька вихідних параметрів, які впливають на величину деформації елемента.

Вказівки до вирішення задачі

За умовою задачі треба перевірити на відповідність вимозі (19) заданий згинальний елемент консольного типу зі змінним прямокутним перерізом, який знаходиться під дією рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю q .

Схема елемента наведена на рис. 17, розрахункова схема – на рис. 18, заданий найбільший переріз елемента – на рис. 19.

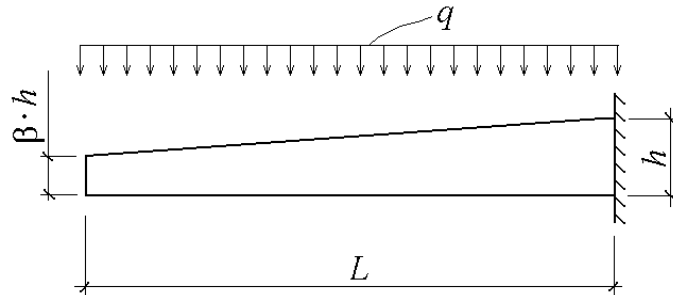


Рис. 17. Схема елемента.

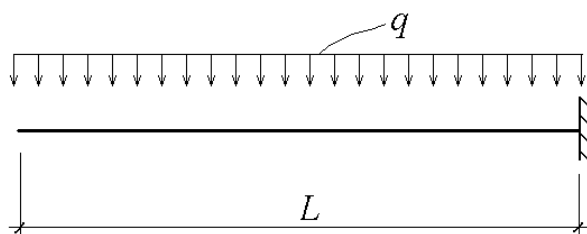


Рис. 18. Розрахункова схема елемента.

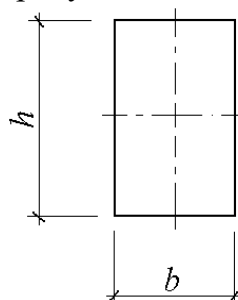


Рис. 19. Заданий найбільший переріз елемента.

Вихідні розрахункові дані визначаємо за табл. 5 додатку А. При цьому, як і в попередній задачі, треба витримати послідовність завдання розмірів перерізу, де перша цифра означає ширину b , а друга – висоту h . Заданий переріз зображуємо на ескізі (див. рис. 19).

Перевірку заданого елемента виконуємо в наступній послідовності.

1. Розраховуємо прогин балки постійного перерізу висотою h за виразом

$$f_0 = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I},$$

де величини зовнішнього навантаження q і прольоту балки L приймаємо за вихідними даними, модуль пружності деревини дорівнює $E = 10\,000$ МПа $= 1\,000$ кН/см² (за п. 3.5 СНиП), а величину моменту інерції перерізу I приймаємо за сортаментом (табл. 1 додатку В).

2. Знаходимо найбільший прогин згинального елемента з урахуванням змінності перерізу за формулою (18).

Допоміжні коефіцієнти для даного випадку за табл. 3 додатку 4 СНиП обчислюються за виразами

$$k = 0,35 + 0,65 \cdot \beta \quad \text{і} \quad c = 5,4 + 2,6 \cdot \beta,$$

де величина коефіцієнту зменшення перерізу елемента β визначається за вихідними даними.

3. Перевіряємо виконання умови деформативності елемента (19).

Величина допустимої деформації $[f]$ при цьому визначається за вихідними даними.

Робимо загальний висновок відносно відповідності вимогам другої групи граничних станів за СНиП II-25-80 [1] заданого елемента та його економічності. У негативному висновку, також, необхідно привести рекомендації щодо покращення ситуації.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- 1) Проліт $L = 2,4 \text{ м} = 240 \text{ см}$.
- 2) Навантаження $q = 3,75 \text{ кН/м} = 0,0375 \text{ кН/см}$.
- 3) Коефіцієнт $\beta = 0,8$.
- 4) Нормативний прогин $[f] = L/250 = 240/250 = 0,96 \text{ см}$.
- 5) Переріз $b \times h = 15 \times 20 \text{ см}$ (рис. 20).

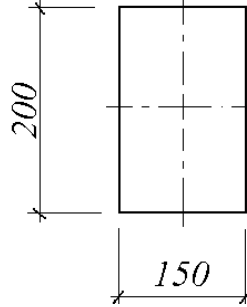


Рис. 20. Заданий переріз елемента.

Рішення виконуємо у визначеній послідовності.

1. Прогин балки постійного перерізу дорівнює

$$f_0 = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} = \frac{0,0375 \cdot 240^4}{8 \cdot 1000 \cdot 10000} = 1,56 \text{ см},$$

2. Допоміжні коефіцієнти дорівнюють

$$k = 0,35 + 0,65 \cdot \beta = 0,35 + 0,65 \cdot 0,8 = 0,87,$$

$$c = 5,4 + 2,6 \cdot \beta = 5,4 + 2,6 \cdot 0,8 = 7,48.$$

Найбільший прогин згинального елемента з урахуванням змінності перерізу дорівнює

$$f = \frac{f_0}{k} \cdot \left[1 + c \cdot \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right] = \frac{1,56}{0,87} \cdot \left[1 + 7,48 \cdot \left(\frac{20}{240} \right)^2 \right] = 1,89 \text{ см}.$$

3. Перевіряємо виконання умови деформативності елемента

$$f = 1,89 \text{ см} > [f] = 0,96 \text{ см},$$

тобто умова не виконується.

Таким чином, заданий елемент не відповідає вимогам деформативності СНиП II-25-80 за другою групою граничних станів. При цьому маємо майже двократне перевищення величини допустимого прогину.

В якості рекомендації щодо покращення ситуації можна навести наступне – рекомендувати або зменшити проліт чи навантаження на елемент, або збільшити переріз елемента.

На цьому рішення задачі вважається завершеним.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1983. – 31 с.
2. ГОСТ 24454-80*. Пиломатериалы хвойных пород. Размеры. – Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 4 с.
3. Клименко В. З. Конструкції з дерева і пластмас: Підручник. – К.: Вища школа, 2000. – 304 с.
4. Конструкции из дерева и пластмасс: Учебн. для вузов / Ю. В. Слицкоухов, В. Д. Буданов, М. М. Гаппоев и др.; Под ред. Г. Г. Карлсена и Ю. В. Слицкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986 . – 543 с.

ЗМІСТ

Загальні вказівки.

Задача № 1.

Задача № 2.

Задача № 3.

Задача № 4.

Задача № 5.

Бібліографічний список.

Додаток А. Вихідні дані до задач.

Додаток Б. Розрахункові характеристики деревини.

Додаток В. Сортамент деревини.

ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАДАЧ

Таблиця 1

Дані до задачі № 1

№ лі- тери	Позиція	А К У	Б Л Ф	В М Х	Г Н Ц	Д О Ч	Е, Є П Ш	Ж Р Щ	З С Ю	И, І Т Я	Ї Й Ь
1	Поздовжня си- ла N , кН	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
2	Діаметр отворів d , мм	12	24	8	20	16	24	8	20	12	16
3	Крок отворів a	$6d$	$4d$	$7d$	$3d$	$5d$	$7d$	$4d$	$6d$	$3d$	$5d$
4	Тип перерізу	О	■	О	■	О	■	О	■	О	■
5	Порода деревини	пихта	липа	дуб	кедр	сосна	в'яз	клен	акація	береза	тополя

Таблиця 2

Дані до задачі № 2

№ лі- тери	Позиція	А К У	Б Л Ф	В М Х	Г Н Ц	Д О Ч	Е, Є П Ш	Ж Р Щ	З С Ю	И, І Т Я	Ї Й Ь
1	Поздовжня си- ла N , кН	70	75	80	85	90	45	50	55	60	65
2	Довжина стій- ки l , м	5,7	6,0	6,3	3,5	3,8	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4
3	Закріплення кінців стійки	Ш+ Ш	Ж+ Ж	К	Ш+ Ж	Ш+ Ш	Ж+ Ж	К	Ш+ Ж	Ш+ Ш	Ж+ Ж
4	Тип перерізу	■	О	■	О	■	О	■	О	■	О
5	Порода деревини	дуб	кедр	сосна	в'яз	клен	акація	береза	тополя	пихта	липа

П р и м і т к а. Умовне позначення закріплення кінців стійки:

К – консоль,
Ш – шарнірне закріплення,
Ж – жорстке закріплення.

Таблиця 3

Дані до задачі № 3

№ лі- тери	Позиція	А К У	Б Л Ф	В М Х	Г Н Ц	Д О Ч	Е, Є П Ш	Ж Р Щ	З С Ю	И, І Т Я	Ї Й Ь
1	Проліт L , м	3,6	3,9	4,2	4,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3
2	Навантаження q , кН/м	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	2,5	3,0	3,5
3	Коефіцієнт β	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
4	Порода деревини	сосна	в'яз	клен	акація	береза	тополя	піхта	липа	дуб	кедр

Таблиця 4

Дані до задачі № 4

№ лі- тери	Позиція	А К У	Б Л Ф	В М Х	Г Н Ц	Д О Ч	Е, Є П Ш	Ж Р Щ	З С Ю	И, І Т Я	Ї Й Ь
1	Поздовжня си- ла N , кН	45	47,5	50	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5
2	Згинальний момент M , кН·м	28	10	12	14	16	18	20	22	24	26
3	Закріплення кінців стійки	К	Ш+ Ж	Ш+ Ш	Ж+ Ж	К	Ш+ Ж	Ш+ Ш	Ж+ Ж	К	Ш+ Ж
4	Довжина стій- ки l , м	4,2	4,5	4,8	5,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9
5	Порода деревини	клен	акація	береза	тополя	піхта	липа	дуб	кедр	сосна	в'яз
6	Переріз $b \times h$, см×см	15× 22,5	10× 25	25× 25	10× 20	15× 17,5	20× 20	15× 15	20× 25	20× 12,5	25× 17,5

Дані до задачі № 5

№ лі- тери	Позиція	А К У	Б Л Ф	В М Х	Г Н Ц	Д О Ч	Е, Є П Ш	Ж Р Щ	З С Ю	И, І Т Я	Ї Й Ь
1	Проліт L , м	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5
2	Навантаження q , кН/м	4,00	4,25	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75
3	Коефіцієнт β	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
4	Нормативний прогин, $[f]$	L 300	L 250	L 150	L 400	L 200	L 300	L 250	L 150	L 400	L 200
5	Переріз $b \times h$, см $\times$ см	20 $\times$ 20	15 $\times$ 15	20 $\times$ 25	20 $\times$ 12,5	25 $\times$ 17,5	15 $\times$ 22,5	10 $\times$ 25	25 $\times$ 25	10 $\times$ 20	15 $\times$ 17,5

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВИНИ

Таблиця 1

Розрахункові опори деревини
(за табл. 3 СНиП II-25-80 [1])

Напружений стан і характеристика елементів	Позна- чення	Розрахункові опори, МПа, для сортів дере- вини		
		1	2	3
1. Згин, стиск і зминання вздовж волокон: а) елементи прямокутного перерізу (за винятком зазначених у підпунктах «б», «в») заввишки до 50 см б) елементи прямокутного перерізу завширшки понад 11 до 13 см при висоті перерізу понад 11 до 50 см в) елементи прямокутного перерізу завширшки понад 13 см при висоті перерізу понад 13 до 50 см г) елементи з круглих лісоматеріалів без врізок у розрахунковому перерізі	R_z, R_c, R_{zm}	14 15 16 —	13 14 15 16	8,5 10 11 10
2. Розтяг вздовж волокон: а) неклеєні елементи б) клеєні елементи	R_p	10 12	7 19	— —
3. Стиск і зминання по всій площині впоперек волокон	$R_{c, 90}, R_{zm, 90}$	1,8	1,8	1,8
4. Зминання впоперек волокон місцеве: а) в опорних частинах конструкції, лобових врубках і вузлових приляганнях елементів б) під шайбами при кутах зминання від 90 до 60°	$R_{zm, 90}$	3 4	3 4	3 4
5. Сколювання вздовж волокон: а) при згині неклеєних елементів б) при згині клеєних елементів в) у лобових врубках для максимального напруження г) місцеве у клейових з'єднаннях для максимального напруження	$R_{ск}$	1,8 1,6 2,4 2,1	1,6 1,5 2,1 2,1	1,6 1,5 2,1 2,1
6. Сколювання впоперек волокон: а) у з'єднаннях неклеєних елементів б) у з'єднаннях клеєних елементів	$R_{ск, 90}$	1 0,7	0,8 0,7	0,6 0,6
7. Розтяг впоперек волокон елементів з клеєної деревини	$R_{p, 90}$	0,35	0,3	0,25

П р и м і т к а. В таблиці наведені розрахункові опори для деревини сосни (крім веймутової), ялини, листяниці європейської і японської.

Перехідний коефіцієнт m_n
(за табл. 4 СНиП II-25-80 [1])

Порода деревини	Коефіцієнт m_n для розрахункових опорів		
	розтягу, згину, стиску і зминанню вздовж волокон R_p, R_z, R_c, R_{zm}	стиску і зминанню впоперек волокон $R_{c. 90}, R_{zm. 90}$	сколюванню $R_{ск}$
Хвойні			
1. Листяниця, крім європейської і японської	1,2	1,2	1
2. Кедр сибірський, крім Красноярського краю	0,9	0,9	0,9
3. Кедр Красноярського краю, сосна веймутова	0,65	0,65	0,65
4. Піхта	0,8	0,8	0,8
Тверді листяні породи			
5. Дуб	1,3	2	1,3
6. Ясень, клен, граб	1,3	2	1,6
7. Акація	1,5	2,2	1,8
8. Береза, бук	1,1	1,6	1,3
9. В'яз, ільм	1	1,6	1
М'які листяні породи			
10. Вільха, липа, осина, тополя	0,8	1	0,8

СОРТАМЕНТ ДЕРЕВИНИ

Таблиця 1

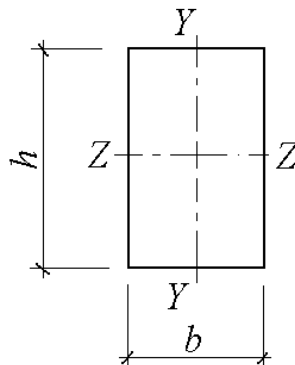
Сортамент прямокутних перерізів
(за ГОСТ 24454-80* [2])

Рис. 21. Умовні позначення розмірів переріза.

Товщина b , см	Ширина h , см	Площа попе- речного пе- рерізу, см ²	Момент інерції, см ⁴		Момент опору, см ⁴	
			I_z	I_y	W_z	W_y
1	2	3	4	5	6	7
1,6	7,5	12,0	56	3	15	3
	10,0	16,0	133	3	27	4
	12,5	20,0	260	4	42	5
	15,0	24,0	450	5	60	6
1,9	7,5	14,3	67	4	18	5
	10,0	19,0	158	6	32	6
	12,5	23,8	309	7	49	8
	15,0	28,5	534	9	71	9
	17,5	33,3	849	10	97	11
2,2	7,5	16,5	77	7	21	6
	10,0	22,0	183	9	37	8
	12,5	27,5	358	11	57	10
	15,0	33,0	619	13	83	12
	17,5	38,5	983	16	112	14
	20,0	44,0	1467	18	147	16
	22,5	49,5	2088	20	186	18
2,5	7,5	18,8	88	10	23	8
	10,0	25,0	208	13	42	10
	12,5	31,3	407	16	65	13
	15,0	37,5	703	20	94	16
	17,5	43,8	1117	23	128	18
	20,0	50,0	1667	26	167	21
	22,5	56,3	2373	29	211	23
	25,0	62,5	3255	33	260	26
	27,5	68,8	4333	36	315	29

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
3,2	7,5	24,0	113	20	30	13
	10,0	32,0	267	27	53	17
	12,5	40,0	521	34	83	21
	15,0	48,0	900	41	120	26
	17,5	56,0	1429	48	163	30
	20,0	64,0	2133	55	213	34
	22,5	72,0	3038	61	270	38
	25,0	80,0	4167	68	333	43
	27,5	88,0	5546	75	403	47
4,0	7,5	30,0	141	40	38	20
	10,0	40,0	333	53	67	27
	12,5	50,0	651	67	104	33
	15,0	60,0	1125	80	150	40
	17,5	70,0	1786	93	204	47
	20,0	80,0	2667	107	267	53
	22,5	90,0	3797	120	338	60
	25,0	100,0	5208	133	417	67
	27,5	110,0	6932	147	504	73
4,4	7,5	33,0	155	53	41	24
	10,0	44,0	367	71	73	32
	12,5	55,0	716	89	115	40
	15,0	66,0	1238	106	165	48
	17,5	77,0	1965	124	225	56
	20,0	88,0	2933	142	293	65
	22,5	99,0	4177	160	371	73
	25,0	110,0	5729	177	458	81
	27,5	121,0	7626	195	555	89
5,0	7,5	37,5	176	78	47	31
	10,0	50,0	417	104	83	42
	12,5	62,5	814	130	130	52
	15,0	75,0	1406	156	188	63
	17,5	87,5	2233	182	255	73
	20,0	100,0	3333	208	333	83
	22,5	112,5	4746	234	422	94
	25,0	125,0	6510	260	521	104
	27,5	137,5	8665	286	630	115

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
6,0	10,0	60,0	500	180	100	60
	12,5	75,0	977	225	156	75
	15,0	90,0	1688	270	225	90
	17,5	105,0	2680	315	306	105
	20,0	120,0	4000	360	400	120
	22,5	135,0	5695	405	506	135
	25,0	150,0	7813	450	625	150
	27,5	165,0	10398	495	756	165
7,5	7,5	56,3	264	264	70	70
	10,0	75,0	625	352	125	94
	12,5	93,8	1221	439	195	117
	15,0	112,5	2109	527	281	141
	17,5	131,3	3350	615	383	164
	20,0	150,0	5000	703	500	188
	22,5	168,8	7119	791	633	211
	25,0	187,5	9766	879	781	234
	27,5	206,3	12998	967	945	258
10,0	10,0	100,0	833	833	167	167
	12,5	125,0	1628	1042	260	208
	15,0	150,0	2813	1250	375	250
	17,5	175,0	4466	1458	510	292
	20,0	200,0	6667	1667	667	333
	22,5	225,0	9492	1875	844	375
	25,0	250,0	13021	2083	1042	417
	27,5	275,0	17331	2292	1260	458
12,5	12,5	156,3	2035	2035	326	326
	15,0	187,5	3516	2441	469	391
	17,5	218,8	5583	2848	638	456
	20,0	250,0	8333	3255	833	521
	22,5	281,3	11865	3662	1055	586
	25,0	312,5	16276	4069	1302	651
15,0	15,0	225,0	4219	4219	563	563
	17,5	262,5	6699	4922	766	656
	20,0	300,0	10000	5625	1000	750
	22,5	337,5	14238	6328	1266	844
	25,0	375,0	19531	7031	1563	938
17,5	17,5	306,3	7816	7816	893	893
	20,0	350,0	11667	8932	1167	1021
	22,5	393,8	16611	10049	1477	1148
	25,0	437,5	22786	11165	1823	1276
20,0	20,0	400,0	13333	13333	1333	1333
	22,5	450,0	18984	15000	1688	1500
	25,0	500,0	26042	16667	2083	1667
25,0	25,0	625,0	32552	32552	2604	2604

Сортамент круглих перерізів

Діаметр, см	Площа поперечного перерізу, см ²	Момент інерції, см ⁴	Момент опору, см ⁴
6	28,3	64	21
7	38,5	118	34
8	50,3	201	50
9	63,6	322	72
10	78,5	491	98
11	95,0	719	131
12	113,1	1018	170
13	132,7	1402	216
14	153,9	1886	269
15	176,7	2485	331
16	201,1	3217	402
17	227,0	4100	482
18	254,5	5153	573
19	283,5	6397	673
20	314,2	7854	785
21	346,3	9547	909
22	380,1	11499	1045
23	415,5	13737	1194
24	452,4	16286	1357
25	490,9	19175	1534
26	530,9	22432	1726
27	572,6	26087	1932
28	615,8	30172	2155
29	660,5	34719	2394
30	706,9	39761	2651