

Заключение

В работе на основе разработанных ранее методики и алгоритма расчета методом конечных элементов представлена созданная автором учебная компьютерная программа расчета балочных систем на неподвижные нагрузки.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем. – Брест, 2007. – 172 с.
2. Фаронов, В.В. Delphi программирование на языке высокого уровня: учебник для вузов. – Санкт-Петербург: Питер, 2010. – 640 с.

УДК 624.011.1

Капитан А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Жук В.В.

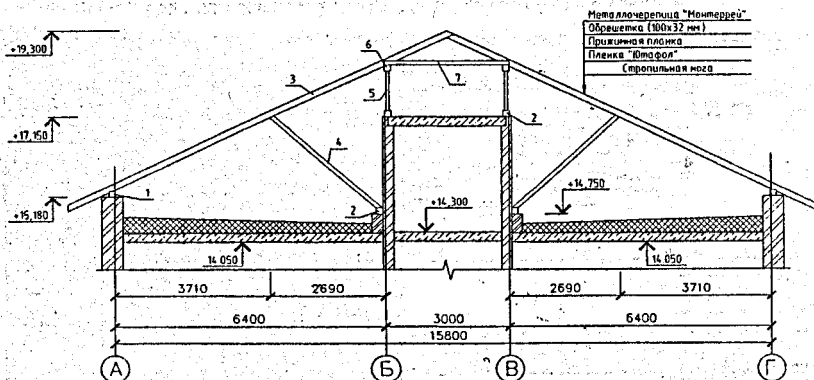
АНАЛИЗ РАСЧЕТА ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОПИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОТЕЧЕСТВЕННЫМ НОРМАМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЕВРОКОДУ 5

Введение

В настоящее время на территории Республики Беларусь активно реализуется программа внедрения европейских строительных норм (Еврокодов). На начало 2010 года в нашей стране в качестве технических кодексов установившейся практики (ТКП EN) введены 58 Еврокодов, а с учетом ранее принятых почти 700 европейских нормативов приобрели статус государственных стандартов СТБ EN [1].

В связи с введением ТКП EN 1995-1-1-2009 (02250) Еврокод 5. «Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий» возникла необходимость анализа этого документа в части оценки и сравнения методики расчета сжатых и изгибаемых деревянных элементов по отечественным нормам [2] и Еврокоду 5 [3].

В качестве базовой несущей конструкции были приняты наслонные стропила стропильной системы двускатной крыши учебно-лабораторного корпуса №2 УО БрГТУ (рис. 1).



1 – мауэрлат; 2 – лежень; 3 – стропильная нога; 4 – подкос; 5 – стойка; 6 – прогон; 7 – ригель

Рисунок 1 – Конструктивное решение стропильной системы учебно-лабораторного корпуса № 2 (проектное решение)

В расчетном отношении стропильная нога представляет собой неразрезную трехпролетную балку. Расчет стропильной ноги выполняется по предельным состояниям несущей способности: на прочность и жесткость.

Постоянные воздействия. Сбор постоянных нагрузок, действующих на стропильную раму (таблица 1), выполнен с учетом действующих отечественных нормативных документов [2, 4] и европейских строительных норм [5, 6], введенных на территории РБ.

Переменные воздействия. Полное нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует определять согласно п. 5.1 [4] по формуле $S_n = S_0 \cdot \mu = 0.8 \cdot 0.97 = 0.776$ кПа, где $S_0 = 0.8$ кПа – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли для г. Бреста с учетом изменения №1 (таблицы 4 и карты 1 [4]); $\mu = (60^\circ - 26^\circ) / 35^\circ = 0.97$ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие.

Таблица 1 – Постоянная нагрузка на 1 м. п. стропильной ноги

Элементы и подсчет нагрузок	Нормативная нагрузка, кН/м	Коэффициент надежности по нагрузке, γ_f / γ_G^*	Расчетная нагрузка, кН/м
1	2	3	4
Металлочерепица «Монтеррей» 4.5 · 10/1000	0.045	1.05 1.35*	0.047 0.061*
Обрешетка (b x h = 100 x 32 мм, $\rho = 600 / 420^*$ кг/м ³) с шагом 500 мм 0.1 · 0.032 · (600 / 420 [*]) · 10 / (1000 · 0.5)	0.038 0.027*	1.10 1.35*	0.042 0.036*
Пленка «Ютафол» 2 · 1 · 10/1000	0.002	1.30 1.35*	0.0026 0.003*
Прижимная планка (b x h = 60 x 25 мм, $\rho = 600 / 420^*$ кг/м ³) 0.06 · 0.025 · (600 / 420 [*]) · 10/1000	0.009 0.009*	1.10 1.35*	0.0026 0.003*
Стропильная нога: (b x h = 50 x 175 мм, $\rho = 600$ кг/м ³) (b x h = 50 x 150 мм, $\rho = 420$ кг/м ³)*	0.053 0.032*	1.10 1.35*	0.058 0.043*
Итого: G	0.147 0.112*		0.159 0.152*

где: - 4.5 кг – вес 1 м² металлочерепицы «Монтеррей»; $\rho = 600$ кг/м³ – плотность древесины сосны для 3 класса условий эксплуатации, таблица 6.2 [2]; $\rho = 420$ кг/м³ – плотность древесины сосны класса С24 для 2 класса условий эксплуатации таблица А.1 [7]; 0.2 кг – вес 1 м² пленки «Ютафол»; l = 1 м – шаг стропильных рам; 10/1000 – коэффициент перехода от нагрузки в кг к кН; $\gamma_f = 1.05$ – коэффициент надежности по нагрузке для металлических конструкций, таблица 1 [4]; $\gamma_f = 1.10$ – коэффициент надежности по нагрузке для деревянных конструкций, таблица 1 [4]; $\gamma_f = 1.30$ – коэффициент надежности по нагрузке для изоляционного слоя, выполненного на строительной площадке, таблица 1 [4]; $\gamma_G = 1.35$ – частный коэффициент для постоянной нагрузки, таблица А.1.2(А) [6].

Примечание – * – вариант сбора постоянной нагрузки по нормам Еврокода

Расчетная снеговая нагрузка определяется путем умножения нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке γ_f для снеговой нагрузки. Так как $0.147 / 0.8 = 0.184 < 0.8$, то $\gamma_f = 1.6$ (п. 5.7) [4]. С учетом требований [4] для двускатных покрытий при

$20^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ необходимо учесть два варианта распределения снеговой нагрузки (приложение 3 [4]): вариант 1 – равномерно распределенная по всему пролету интенсивностью $Q_d = s_n \cdot b \cdot \gamma_f = 0.776 \cdot 1 \cdot 1.6 = 1.242 \text{ кН/м}$; вариант 2 – равномерно распределенная на половине пролета (слева) интенсивностью $Q_d = 0.75 \cdot s_n \cdot b \cdot \gamma_f = 0.75 \cdot 0.776 \cdot 1 \cdot 1.6 = 0.931 \text{ кН/м}$, равномерно распределенная на половине пролета (справа) интенсивностью $Q_d = 1.25 \cdot s_n \cdot b \cdot \gamma_f = 1.25 \cdot 0.776 \cdot 1 \cdot 1.6 = 1.552 \text{ кН/м}$.

В соответствии с [6] снеговая нагрузка на покрытие для постоянных расчетных ситуаций определяется по формуле: $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.8 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 1 = 0.96 \text{ кПа}$; где: $\mu_i = 0.8$ – коэффициент формы снеговых нагрузок, таблица 5.2 [6]; $s_k = 1.2 \text{ кПа}$ – характеристическое значение снеговых нагрузок на грунт, рисунок НП.1(ВУ), п. 4.1 (1) [6]; $C_e = 1$ – коэффициент окружающей среды, таблица НП. 2 (ВУ) [6]; $C_t = 1$ – температурный коэффициент, п. 5.2 (8) [6].

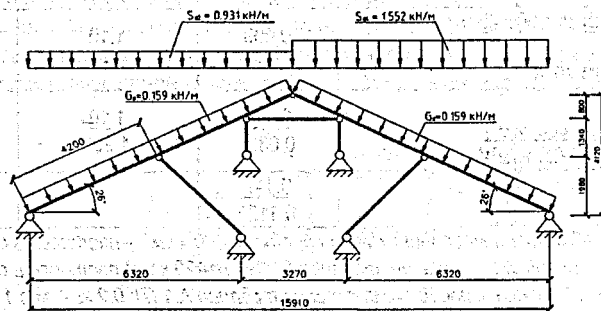
При расчете по [3] расчетное сочетание при проверках предельных состояний несущей способности в соответствии с [8] с учетом наличия одной переменной нагрузки определяется по формуле: $\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$, где $\gamma_G = 1.35$ – частный коэффициент

для постоянной нагрузки, таблица А. 1.2 (В) [8], $\gamma_Q = 1.5$ – частный коэффициент для переменной нагрузки, таблица А. 1.2 (В) [8]; G_k – постоянное воздействие; Q_k – доминирующее переменное воздействие.

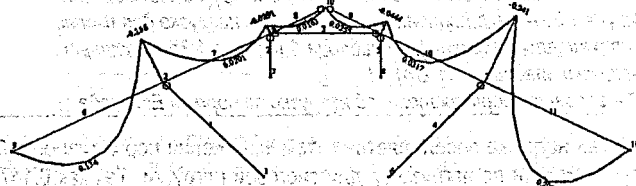
Статический расчет стропильной рамы выполнен в программном комплексе Лира 9.6 (R4), разработанной ООО «ЛИРА софт» Украина г. Киев.

Расчетные схемы и результаты статических расчетов стропильной рамы приведены на рисунках 2 и 3.

а)



б)



Расчет стропильной ноги по ТКП 45-5.05-146-2009

Опасным сечением стропильной ноги является сечение в месте опирания на подкос (рис. 2, б, в). Расчетные усилия: $M_d = 2.41 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $N_d = 1.89 \text{ кН}$.

Расчет сжато-изгибаемых элементов на прочность по нормальным напряжениям выполняется по формуле (7.21) [2]:

$$\sigma_{\text{сод}} = \frac{N_d}{A_{\text{inf}}} + \frac{M_d}{k_{\text{mc}} \cdot W_d} < f_{\text{сод}};$$

где $N_d = 1.89 \text{ кН}$ – продольное сжимающее усилие;

$M_d = 2.41 \text{ кН}\cdot\text{м}$ – изгибающий момент от действия поперечной нагрузки;

A_{inf} – площадь расчетного сечения нетто, $A_{\text{inf}} = b \cdot h$;

W_d – расчетный момент сопротивления поперечного сечения, $W_d = b \cdot h^2 / 6$;

$f_{\text{с,о,д}} = f_{\text{с,о,д}} \cdot k_{\text{mod}} / \gamma_n = 13 \cdot 0.95 / 1 = 12.35 \text{ МПа}$ – расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон, п. 6.1.4.7 [2], стр. 34 [4];

k_{mc} – коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента в соответствии с п. 7.6.2 [2]:

$$k_{\text{mc}} = 1 - \frac{N_d}{k_c \cdot f_{\text{сод}} \cdot A_{\text{sup}}},$$

где k_c – коэффициент продольного изгиба, определяемый по формуле (7.7) [2]: $k_c = C / \lambda^2$. λ – гибкость элемента, постоянного по длине сечения, $\lambda = \mu_0 \cdot l / i$, где $\mu_0 = 1$ – коэффициент, учитывающий шарнирное закрепление концов элемента; l – свободная длина элемента; $i = 0.289 \cdot h$ – радиус инерции сечения элемента.

Численный расчет. Геометрические характеристики сечения: $A_{\text{inf}} = 5 \cdot 17.5 = 87.5 \text{ см}^2$; $W_d = 5 \cdot 17.5^2 / 6 = 255.2 \text{ см}^3$; $i = 0.289 \cdot 17.5 = 5.06 \text{ см}$; $\lambda = 420 / 5.06 = 83.0$; $k_c = 3000 / 83^2 = 0.435$;

$$k_{\text{mc}} = 1 - \frac{1.89}{0.435 \cdot 12.35 \cdot 87.5} = 0.96;$$

$$\sigma_{\text{сод}} = \frac{1.89}{87.5} + \frac{2.41}{0.96 \cdot 255.2} = 0.022 + 0.984 = 1.006 \text{ кН} / \text{см}^2 = 10.06 \text{ МПа} < f_{\text{сод}} = 12.35 \text{ МПа}.$$

Запас по прочности составляет 18,5 %.

Расчет стропильной ноги по ТКП EN 1995-1-1-2009. Опасным сечением стропильной ноги является сечение в месте опирания на подкос (рисунок 3 б, в). Расчетные усилия: $M_{y,d} = 2.25 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $N_d = 1.42 \text{ кН}$.

Согласно п. 6.2.4 [3] при изгибе в одной плоскости и осевом сжатии должно удовлетворяться следующее выражение:

$$\left(\frac{\sigma_{\text{с,о,д}}}{f_{\text{с,о,д}}} \right)^2 + \frac{\sigma_{\text{м,у,д}}}{f_{\text{м,у,д}}} \leq 1,$$

где $\sigma_{\text{с,о,д}}$ – расчетное напряжение при сжатии вдоль волокон; $\sigma_{\text{с,о,д}} = N_d / A_{\text{br}}$; $f_{\text{с,о,д}}$ – расчетное сопротивление на сжатие вдоль волокон; $\sigma_{\text{м,у,д}}$ – расчетное изгибающее напряжение относительно оси y ; $\sigma_{\text{м,у,д}} = M_{y,d} / W_y$; $f_{\text{м,у,д}}$ – расчетное сопротивление на изгиб в отношении главной оси y ; k_{m} – коэффициент, учитывающий перераспределение изгибающих напряжений в поперечном сечении.

В соответствии с п. 2.4.1 (1) [2] расчетное значение X_d для прочностных характеристик рассчитывается как $X_d = k_{\text{mod}} \cdot X_k / \gamma_M$, где X_k – нормативная величина прочностной харак-

теристики, таблица А.1 [7]; γ_m – частный коэффициент свойств материала, таблица НП.2.3 [3]; k_{mod} – коэффициент модификации, учитывающий эффект длительности нагрузки и содержание влаги, таблица НП.3.1 [3].

Численный расчет. Расчетные значения свойств древесины при работе на

– изгиб - $f_{m,d} = f_{m,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m = 24 \cdot 0.7 / 1.22 = 13.77$ МПа;

– сжатие вдоль волокон - $f_{c,0,d} = f_{c,0,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m = 21 \cdot 0.7 / 1.22 = 12.05$ МПа.

Геометрические характеристики сечения:

$A_{br} = 5 \cdot 15 = 75$ см²; $W_y = b \cdot h^2 / 6 = 5 \cdot 15^2 / 6 = 187.5$ см³.

$\sigma_{m,y,d} = 225 / 187.5 = 1.2$ кН / см²; $\sigma_{c,0,d} = 1.42 / 75 = 0.019$ кН / см².

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{0.019}{1.205} \right)^2 + \frac{1.2}{1.377} = 0.0002 + 0.8715 = 0.8717 < 1.$$

Запас по прочности составляет 12.8 %.

Заключение. По результатам выполненных расчетов наслонных стропил стропильной системы двускатной крыши можно сделать следующие выводы:

Еврокод 1 учитывает большее число параметров, влияющих на величину снеговой нагрузки, по сравнению с нормами СНиП 2.01.07-85 с изменением 1.

Расчет стропильной ноги по Еврокоду 5 позволяет уменьшить расход древесины на 14% по сравнению с расчетом по отечественным нормам.

Влияние продольной силы при расчете стропильной ноги незначительно, что позволяет рассчитывать наслонные стропила только на поперечный изгиб.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лешкевич, Ю. Жизнь по Еврокодам / Ю. Лешкевич // Мастерская. Современное строительство. – 2010. – № 2. – С. 77 – 79.
2. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 63с. Технический кодекс установившейся практики.
3. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1995-1-1-2009 (02250). Введен. 01.01.2010. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 98с. Технический кодекс установившейся практики.
4. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. Введ. 01.01.1987. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 36с., с изменением №1.
5. Еврокод 1. Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-1. Удельный вес, постоянные и временные нагрузки на здания: СТБ EN 1991-1-1-2007. Введ. 01.01.2008. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. – 28 с.
6. Еврокод 1. Воздействие на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: ТКП EN 1991-1-3-2009 (02250). Введ. 01.01.2010. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 40с. Технический кодекс установившейся практики.
7. Государственный стандарт Республики Беларусь. СТБ EN 338. Древесина конструкционная. Классы прочности (проект).
8. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций: СТБ EN 1990-2007. Введ. 01.01.2008. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2007. – 96с. Технический кодекс установившейся практики.