

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций: СТБ EN 1996-1-1-2008 – Введ. 1.07.2009. – Минск: Госстандарт, 2009. –

Часть 1-1: Общие правила для армированных и неармированных конструкций – 128 с.

2. Методы испытаний каменной кладки: СТБ EN 1052-1-2015 – Введ. 01.11.2015. – Минск: Госстандарт. – Часть 1. Определение прочности при сжатии – 10 с.

Материал поступил в редакцию 02.02.16

TSARUK O.G. Compressive strength of masonry from large-scale silicate blocks with groove connection system of vertical joints

Experimental studies of compressive strength of masonry specimens from large-scale silicate blocks with groove connection system of vertical joints on thin mortar joints were carried out. Based on the results of experimental studies the features of cracking and failure of masonry under the compressive force acting perpendicular to the plane of the horizontal mortar joints were identified. Stress-strain diagrams of masonry were obtained, and the initial and secant modulus of elasticity were calculated. The characteristic values of the compressive strength of masonry were obtained.

УДК 624.011.1

Захаркевич И.Ф., Шевчук В.Л.

АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИСЯЧИХ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОПИЛ

Введение. В современном строительстве широкое распространение получают скатные крыши с применением наслонных и висячих деревянных стропил. Висячие стропила пролетами до 12 м применяются в зданиях без средних опор (стен или колонн) с опиранием на наружные стены. Основными элементами висячих стропил являются стропильные ноги и затяжки.

Уклон кровли составляет $i = 0,5 - 1,0$ ($\alpha = 25^\circ - 45^\circ$), что соответствует отношению $h/l = \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$.

В соответствии с [1] расчетная схема висячих стропил представлена на рис. 1.

С точки зрения статики такая система является геометрически неизменяемой и статически определимой.

В [1] приведены формулы для определения усилий в элементах при действии равномерно-распределенной нагрузки на горизонтальную проекцию стропил (с оговоркой, что это приближенные формулы).

Опорные реакции:

$$A = B = \frac{q \cdot l}{2}. \quad (1)$$

Изгибающий момент в стропильной ноге в месте примыкания затяжки:

$$M_c = \frac{q \cdot l^2}{8} \cdot \left(\frac{h^2 - a^2}{h^2} \right). \quad (2)$$

Продольное усилие в затяжке:

$$H = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot a}. \quad (3)$$

Продольное усилие на нижнем участке стропильной ноги:

$$N_1 = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{S}{h}. \quad (4)$$

Продольное усилие на верхнем участке стропильной ноги:

$$N_2 = \frac{q \cdot l}{4} \cdot \frac{S}{a}. \quad (5)$$

Целью исследования явилось решение следующих задач:

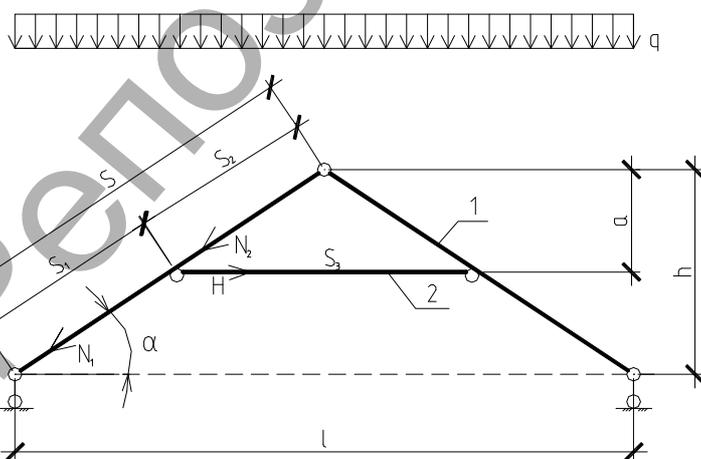
1. Установить достоверность приведенных выше формул.
2. Установить зависимость напряженного состояния элементов системы от следующих факторов:

- от расположения затяжки по высоте системы;
- от угла наклона стропильных ног;
- от способа закрепления опор.

Для установления достоверности приведенных формул выполнен тестовый пример для схемы стропил на рисунке 1 при следующих данных $l = 9$ м, $a = 1,5$ м, $h = 3$ м, $q = 1,5$ кН/м.

Расчет выполнялся с использованием программы "SIRIUS". Результаты расчета приведены на рисунке 2.

В результате анализа полученных данных (таблица 1) были



1 – стропильная нога, 2 – затяжка
Рис. 1. Расчетная схема висячих стропил

Здесь:

- l – пролет системы;
- a – расстояние от конька до затяжки;
- S – общая длина стропильной ноги;
- S_1 – длина нижнего участка стропильной ноги (от опоры до затяжки);
- S_2 – длина верхнего участка стропильной ноги (от затяжки до конька);
- S_3 – длина затяжки

Захаркевич Иван Филиппович, к.т.н., доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

уточнены некоторые выше приведенные формулы.

В формуле (4) вместо $N_1 = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{S}{h}$ – должно быть

$$N_1 = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{h}{S}$$

В формуле (5) вместо $N_2 = \frac{q \cdot l}{4} \cdot \frac{S}{a}$ – должно быть

$$N_2 = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \left(\frac{S}{2 \cdot a} - \frac{a}{S} \right)$$

Следует отметить, что продольные усилия по приближенным формулам (4) и (5) в значительной степени завышались. Так:

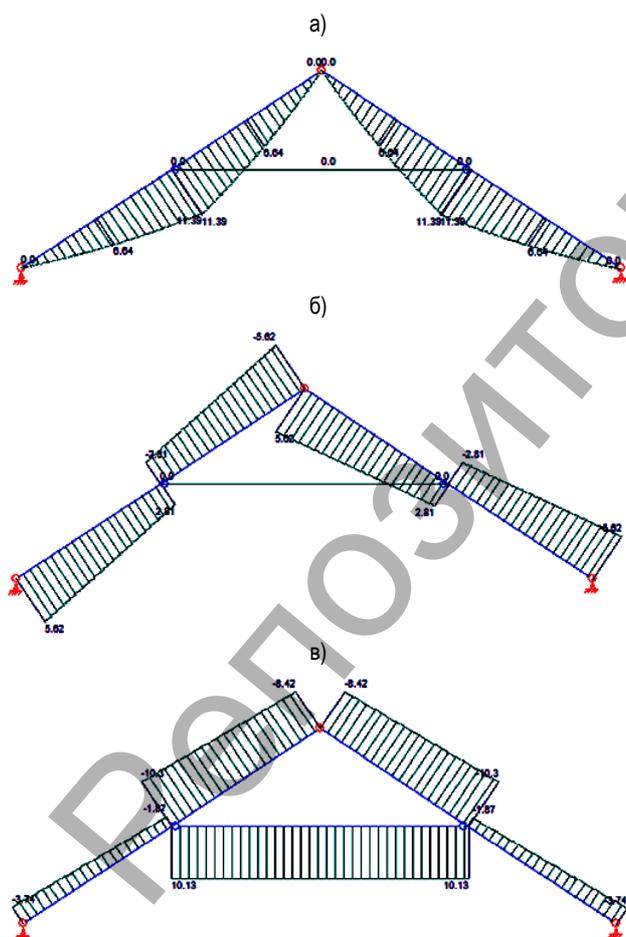
N_1 – в 3,25 раза (вместо 3,74 – 12,17 кН);

N_2 – в 1,04–1,64 раза (вместо 10,3–12,17 кН, вместо 4,6–7,6 кН).

1. Напряженное состояние элементов системы в зависимости от расположения затяжки по высоте

Для установления этого были выполнены статические расчеты системы и определены усилия в элементах при следующих данных: равномернораспределенная нагрузка на горизонтальную поверхность $q = 1,5$ кН/м, пролет $l = 9$ м, высота системы

$$h = \frac{1}{3} \cdot l = 3 \text{ м}, S = 5,408 \text{ м}$$



а) эпюра моментов M , кНм; б) эпюра поперечных сил Q , кН; в) эпюра продольных сил N , кН

Рис. 2. Эпюры расчетных усилий в элементах системы

Пролёт и высота системы были приняты постоянными, варьировалось отношение $a/h = 0,3 - 1,0$.

По результатам расчета были определены усилия и подобраны сечения элементов. В качестве материала была принята древесина – сосна 1 сорта с расчетным сопротивлением в соответствии с [2] $f_{c.o.d} = 14,7$ МПа.

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Сечение стропильной ноги составило:

I схема – 10×25 см;

II схема – $10 \times 22,5$ см;

III схема – $10 \times 17,5$ см;

IV схема – $10 \times 17,5$ см.

Сечение затяжки для всех схем 5×10 см.

Как видно из таблицы, со снижением затяжки уменьшается величина изгибающего момента и усилия в затяжке. Наименьший изгибающий момент возникает при расположении затяжки на уровне опор, т.е. при $a = h$. В этом случае исходя из условия прочности достаточно сечение стропильной ноги 10×15 см, однако прогиб стропильной ноги, в связи с отсутствием промежуточной опоры (затяжки), превышает допустимое значение, поэтому сечение увеличено до размеров $10 \times 17,5$ см. Сечение стропильной ноги определялось как сжато-изгибаемый элемент. При этом было установлено, что основное влияние на напряженное состояние стропильных ног оказывает изгибающий момент. Величина напряжений от действия продольных усилий составляет не более (1–2)% от расчетного сопротивления древесины, для схемы IV – 5,6%.

Максимальное усилие растяжения для затяжки составило 16,86 кН для схемы I. Исходя из этого усилия требуемая площадь сечения составляет 16 см^2 . Поскольку в соответствии с требованиями [2] площадь сечения деревянных элементов несущих конструкций должно быть не менее 50 см^2 , было принято сечение затяжки для всех схем $b \times h = 5 \times 10 \text{ см}$ ($A = 50 \text{ см}^2$).

Сопоставление расхода древесины в таблице 1 выполнено по сравнению со схемой II, т.к. она при расположении затяжки на половине высоты стропил ($a/h = 0,5$) является наиболее распространенной при устройстве стропил.

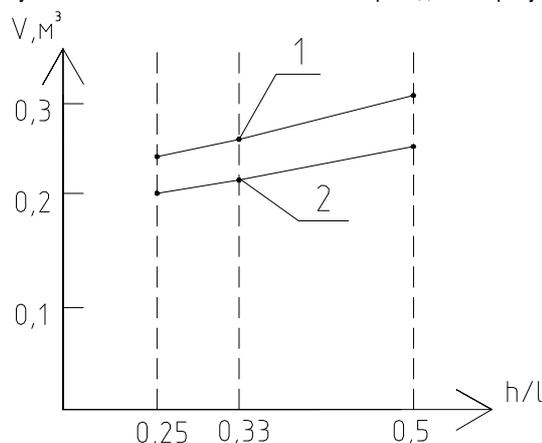
2. Напряженное состояние элементов системы в зависимости от наклона стропил

По вышеприведенной статической схеме были рассмотрены 3 варианта стропильной системы в зависимости от наклона стропил и расположения затяжки. При этом величина пролета и нагрузки была принята постоянной $l = 9$ м, $q = 1,5$ кН/м. Схема II – 1, $h/l = 1/2; 1/3; 1/4$; $a/h = 0,5$.

Схема I – 2, $h/l = 1/2; 1/3; 1/4$; $a/h = 0,8$.

Данные расчета приведены в таблице 2

Графическая зависимость расхода древесины на стропильную систему в зависимости от отношения h/l приведена на рисунке 3.



1 – при $a/h = 0,5$, 2 – при $a/h = 0,8$

Рис. 3. Расход древесины на стропильную систему

Таблица 1. Усилия в элементах и расход древесины по расчетной схеме (рис. 1)

Схема	a/h	$a, м$	$S_1, м$	$S_2, м$	$S_3, м$	$M, кН·м$	$N_1, кН$	$N_2, кН$	$H, кН$	$V_{дрее}, м^3$	Разница V , по сравнению со схемой II, %
I	0,3	0,9	3,79	1,62	2,7	13,8	3,74	19,5	16,86	0,2835	+6,9
II	0,5	1,5	2,705	2,705	4,5	11,39	3,74	10,3	10,12	0,265	-
III	0,8	2,4	1,08	4,33	7,2	5,83	3,74	4,6	6,33	0,225	-1,5
IV	1,0	3,0	$S = 5,408$		9,0	3,8	3,74	-	5,06	0,234	-12

Таблица 2. Расход древесины на стропильную систему

h/l	$h, м$	a/h			a/h		
		$a, м$	сечение, см	$V, м^3$	$a, м$	сечение, см	$V, м^3$
1/2	4,5	2,25	10×22,5	0,308	3,6	10×17,5	0,258
1/3	3,0	1,5	10×22,5	0,265	2,4	10×17,5	0,225
1/4	2,25	1,125	10×22,5	0,248	1,8	10×17,5	0,212

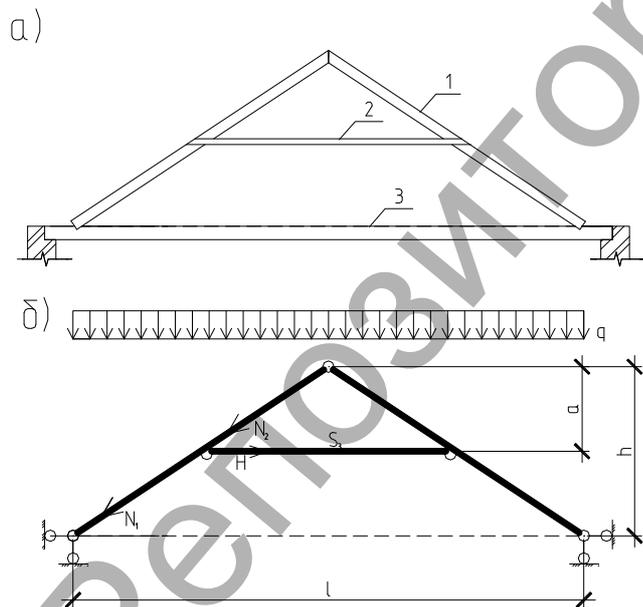
Таблица 3. Усилия в элементах и расход древесины в стропильной системе.

Расчетная схема	$M, кН·м$	$N_1, кН$	$N_2, кН$	$H, кН$	$V_{дрее}, м^3$	Разница $V_{дрее}$, по сравнению со схемой рис. 1, %
рис. 1	11,39	3,74	10,3	10,12	0,265	-
рис. 4	0,73	10,47	3,5	8,04	0,13	- 50,9

3. Напряженное состояние элементов стропильной системы в зависимости от способа закрепления опор. В практике строительства часто применяется конструктивное решение с опиранием стропил на балки чердачного перекрытия (рис. 4а).

В этом случае балка играет роль второй затяжки на уровне опор. При таком решении расчетную схему системы можно представить с неподвижными опорами как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении (рис. 4б).

Данные приведены в таблице 3. Как видно из таблицы 3, расчетные усилия в элементах стропильной системы при горизонтальном закреплении опор существенно меньше, чем при отсутствии таких закреплений, а расход древесины уменьшается более чем на 50%. Сечение стропильной ноги составляет $b \times h = 10 \times 10$ см.



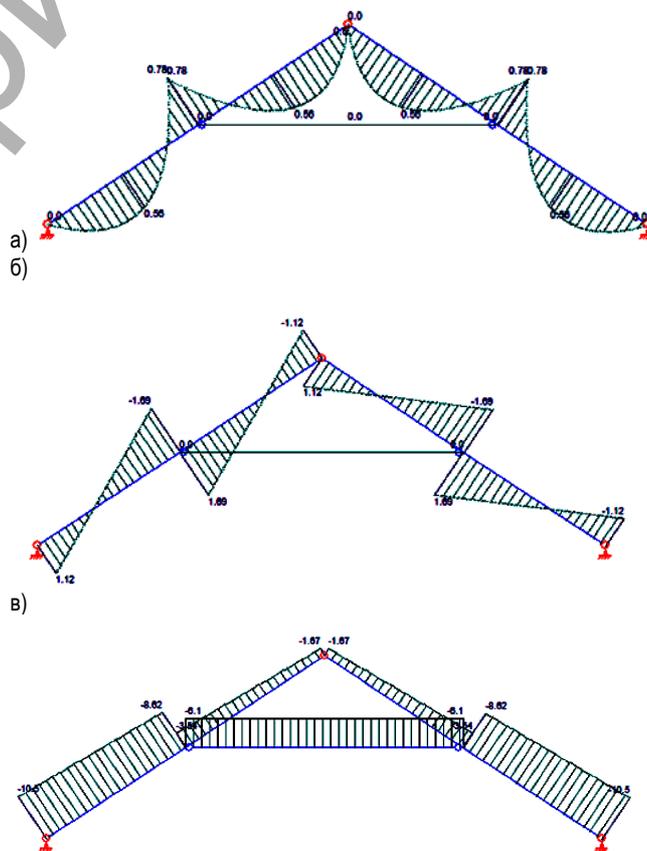
1 – стропильная нога, 2 – затяжка, 3 – балка чердачного перекрытия
а – общий вид; б – расчетная схема

Рис. 4. Висячие стропила с опиранием на балку

Для такой схемы выполнен статический расчет в программе "SIRIUS" и подобраны сечения элементов при следующих данных: $l = 9 м$, $a = 1,5 м$, $h = 3 м$, $q = 1,5 кН/м$.

Результаты расчета приведены на рисунке 5.

Были сопоставлены значения усилий в элементах и расход древесины в стропилах по данной расчетной схеме и расчетной схеме без закрепления опор в горизонтальном направлении, рис. 1.



а – значения изгибающих моментов; б – значения поперечных сил; в – значения продольных сил

Рис. 5. Результаты статического расчета висячих стропил по схеме 4б

Заключение. В результате выполненных расчетов и анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Расположение затяжки по высоте стропил влияет на напряженное состояние элементов и, следовательно, на расход древесины. Располагать затяжку целесообразно на расстоянии от конька $a/h=0,5-0,8$. Наименьший расход древесины при $a/h=0,8$.
2. Сечение элементов стропил не зависит от угла наклона стропил при одинаковой нагрузке, поскольку напряжения от продольной силы в стропильной ноге незначительны по сравнению с напряжениями от изгибающего момента. Величина изгибающего момента при одинаковой нагрузке на горизонтальную поверхность стропил не зависит от угла наклона стропил.

3. При опирании стропил на балки чердачного перекрытия в расчетной схеме необходимо учитывать неподвижные горизонтальные опоры, что соответствует реальной работе стропильной системы и приводит к существенной экономии древесины.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отрешко, А.И. Справочник проектировщика. Деревянные конструкции / А.И. Отрешко. – М.:Стройиздат, 1957. – 262 с.
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. – 63 с. Технический кодекс установившейся практики.

Материал поступил в редакцию 03.02.16

ZAHARKEVICH I.F., SHEVCHUK V.L. The analysis of the bearing ability of trailing wooden rafters

The analysis of formulas for definition of efforts is provided in elements of trailing rafters, a tension of elements of rafter system depending on a tilt angle of rafters, inhaling arrangements on height, and also from the cross section of a rafter leg.

УДК 691.32 (043.3)

Павлова И.П., Каленюк Т.В., Беломесова К.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСШИРЯЮЩИХСЯ СУЛЬФОФЕРРИТНЫХ И СУЛЬФОАЛЮМИНАТНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СОБСТВЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Введение. Развитие технологии цементных композитов привело к получению высококачественных бетонов [1, 3], но не избавило их от главного недостатка – усадки. Одним из наиболее перспективных вариантов решения данной проблемы является применение бетонов на основе расширяющихся вяжущих. Высокие характеристики свойств, присущие бетонам на расширяющихся вяжущих, позволили с успехом применять их в различных областях строительства. Особенно эффективно применение таких бетонов в конструкциях и сооружениях, к которым предъявляются повышенные требования по трещиностойкости, водонепроницаемости и долговечности [4].

В Республике Беларусь на протяжении ряда лет ведутся целенаправленные исследования расширяющихся и напрягающих цементов (НЦ), бетонов и самонапряженных конструкций. Опыт применения напрягающих бетонов в строительной отрасли РБ представлен в работах [3–5].

Следует отметить, что в настоящее время в Республике Беларусь существенно сокращены объемы производства напрягающего и расширяющегося цементов, производимых промышленным способом. В достаточно ограниченных количествах (не превышающих 1000 т/год) эпизодически производится расширяющийся цемент с низкой маркой по энергоактивности (по СТБ 942 "Портландцемент с компенсированной усадкой"). Примерно в таких же объемах производится напрягающий цемент и расширяющаяся добавка сульфоалюминатного типа в условиях полупромышленного производства. Одной из главных причин снижения объемов производства, несмотря на потребность в названном материале, следует считать отсутствие в Республике Беларусь доступного сырья. В настоящей работе представлены результаты исследований вяжущих на основе расширяющихся добавок, получаемых из отечественного сырья.

1. Экспериментальные исследования собственных деформаций цементного камня, изготовленного с применением расширяющихся добавок различного типа. Целью проведения насто-

ящих исследований являлось определение влияния расширяющихся добавок сульфоалюминатного и сульфоферритного типа на прочностные и деформационные характеристики материалов на основе цементных вяжущих с различными минералогическими составами.

Процентное соотношение компонентов и способ их введения при приготовлении лабораторных составов исследуемых модифицированных вяжущих (в сухом виде или в виде суспензии) представлен в таблице 1.

Результаты постановочных исследований и их анализ

Результаты испытаний образцов вяжущих, модифицированных сульфоферритными и сульфоалюминатными добавками, представлены на рис. 1.

Введение расширяющегося компонента в виде суспензии приводит к некоторому росту прочностных показателей исследуемых составов (как прочности на сжатие, так и прочности на растяжение при изгибе) по сравнению с аналогичным составом, отличающимся сухим перемешиванием добавок. Однако прирост прочности не значителен (в пределах 1%). Поэтому выбор способа введения добавки должен быть обоснован технологическими возможностями. При этом составы с расширяющимися добавками на основе метаксаолина и гипса дают спад прочности на сжатие по сравнению с эталонными составами на ПЦ (до 12% в возрасте 28 суток), что объяснимо некоторым разуплотнением структуры на стадии свободного расширения.

На рисунке 1 представлены данные по изменению прочностных показателей во времени для составов, модифицированных метаксаолином в смеси с гипсом, и составов с расширяющейся сульфоферритной добавкой. Способ введения добавок – суспензия. Введение сульфоферритной добавки приводит к росту прочности на сжатие, начиная с начальных сроков твердения. При этом образцы на составах «ПЦ-метаксаолин-гипс» показывают некоторый спад прочности (всё в сравнении с эталонными образцами на ПЦ). Видимо, этот

Павлова Инесса Павловна, к.т.н., доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Каленюк Татьяна Викторовна, старший преподаватель кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Беломесова Кристина Юрьевна, магистрант кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.