

УДК 624.014.2

**Кузнецов И.Л.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [kuz377@mail.ru](mailto:kuz377@mail.ru)

**Исаев А.В.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [isaev@kgasu.ru](mailto:isaev@kgasu.ru)

**Гимранов Л.Р.** – кандидат технических наук, ассистент

E-mail: [leenur@mail.ru](mailto:leenur@mail.ru)

**Вахтель Р.Р.** – старший преподаватель

E-mail: [v\\_roman@bk.ru](mailto:v_roman@bk.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### Несущая способность комбинированной стальной кровли

#### Аннотация

В статье рассматривается конструкция комбинированной стальной кровли, включающая несущий профилированный настил, термопрофиль и кровельный настил. Приведен пример разрушения такой кровли и исследования ее несущей способности. Приведена конечно-элементная модель фрагмента кровли, включающая систему термопрофиль – кровельный настил – и составленная средствами комплекса Ansys. Приведены расчеты несущей способности и показано, что несущая способность кровельного настила определяется устойчивостью стенки на опоре, которой является деформированный тонкостенный термопрофиль.

**Ключевые слова:** стальная комбинированная кровля, профилированный настил, термопрофиль, несущая способность.

В настоящее время при возведении покрытий легких зданий находят распространение комбинированные кровли. Конструкция таких кровель включает несущий стальной профилированный настил, тонкостенные термопрофили и кровельный настил, уложенный по верхнему поясу термопрофилей, при этом пространство в пределах высоты термопрофилей заполняется эффективным минераловатным утеплителем [1, 2, 3]. Применение рассматриваемых кровель показывает на необходимость обобщения области их применения и уточнения расчетных положений действительной работы, в частности системы: термопрофиль – кровельный стальной настил. Для доказательства существующей проблемы рассмотрим пример возведения комбинированной кровли здания завода по производству стекловолокна в ОЭЗ ППТ «Алабуга» РТ, построенного в 2009-2010 годах. Несущие конструкции здания реализуют рамную систему «Уникон» [4], а комбинированная кровля включает несущий профилированный настил марки Н57-750-0.8, термопрофили ПСТ (50)150-2 и кровельный настил той же марки, что и несущий. Утеплитель кровли, заполняющий пространство между несущим и кровельным настилом в пределах высоты термопрофилей типа «УРСА М25». Крепление термопрофилей и кровельного настила выполнено на самосверлящих винтах марки S-MD53Z5.5x2.5. Непродолжительная эксплуатация рассматриваемого здания привела в конце зимы 2010 года к разрушению кровли в зонах, где имелись перепады, приводящие к повышенному снегоотложению. Разрушение кровли произошло в результате деформации полок термопрофилей и, как следствие, листов кровельного настила по линии их опирания (коэффициент перехода  $\mu=1,4$ ). Общий вид фрагмента разрушенной кровли в зоне максимального отложения снеговой нагрузки приведен на рис. 1.



Рис. 1. Фрагмент разрушенной кровли

Данные обстоятельства с разрушением кровли потребовали детального исследования проектной документации [3] и напряженно-деформированного состояния элементов кровли, а именно: системы термопрофиль – кровельный настил. Исследования включали в себя определение несущей способности кровельного настила по нормальным сечениям и проверку обеспечения устойчивости стенки на опоре. Расчет несущей способности профилированного настила по известной методике [5] показал следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

#### Несущая способность кровельного настила

Шаг термопрофилей ( пролет настила)		Предельная нагрузка на настил Н57-750-0.8 (кг/м) на метр ширины	
		Из условия прочности	Из условия устойчивости
4-х пр.	1,5 м	1923	776
	3 м	480	353
3-х пр.	1,5 м	2058	808
	3 м	514	369

Приведенные в таблице 1 данные о несущей способности соответствуют упругой работе настила при отсутствии деформации опор. Поскольку в рассматриваемом случае опорами кровельного настила являются С-образные термопрофили ПСТ (50) 150-2 с толщиной полки 2 мм, то возникает вопрос о действительном распределении опорной реакции настила по их полкам. Исследования производились с использованием программных комплексов Ansys и Лира 9.4.

Исследования на ПК Ansys включали в себя модель участка настила Н57-750-0.8 размерами 0,5х0,3м и термопрофиля ПСТ(50)150 – 2 длиной 0,5 м, а также винт диаметром  $d=5$  мм, выполненных из объемных конечных элементов с моделированием реальных условий контакта (рис. 2).

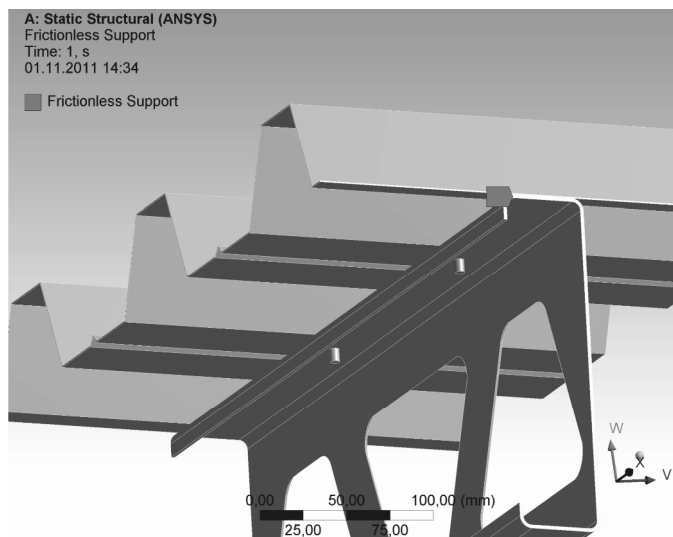


Рис. 2. Модель участка кровельного настила и термопрофиля, выполненная средствами комплекса Ansys

Реальные условия контакта подразумевают под собой возможность образования зазоров и контактной передачи давления с учетом коэффициента трения, равного 0,15. Зона контакта между термопрофилем и настилом имеет более подробную сетку конечных элементов.

Граничные условия включали в себя жесткую заделку нижней полки термопрофиля, симметрию модели (зеркальное продолжение модели) относительно одного своего края и плоскости с отсутствующим трением (возможно перемещение по плоскости в любом направлении, поворот относительно осей, лежащих в этой плоскости, запрещен) относительно другого. Также плоскость с отсутствующим трением была приложена к одному из торцов профилированного настила. Жестко закреплялись кромки отверстия в стенке термопрофиля, т.к. на данном этапе ставилась задача по исследованию взаимодействия настила и верхней полки термопрофиля без учета влияния деформирования стенки на напряженно-деформированное состояние (н.д.с.) всей модели. Вертикальная нагрузка прикладывалась по нормали к полкам настила, т.е. подразумевалось отсутствие скатной составляющей, которая воспринимается коньковым узлом кровли. Величина вертикальной нагрузки соответствует силе реакции опоры от участка настила 1,5x0,5м (1,5 м, т.к. это шаг термопрофилей в зоне снегового мешка) под снеговой нагрузкой. Вертикальная нагрузка прикладывалась поэтапно от 0 до нагрузки, соответствующей коэффициенту  $\mu=4$  в зоне максимального перепада высот. Деформированная схема модели в различных ракурсах приведена на рис. 3. Качественная картина деформаций совпадает с деформациями, выявленными в ходе натурных обследований. На рис. 4 приведены эквивалентные напряжения по Мизесу.

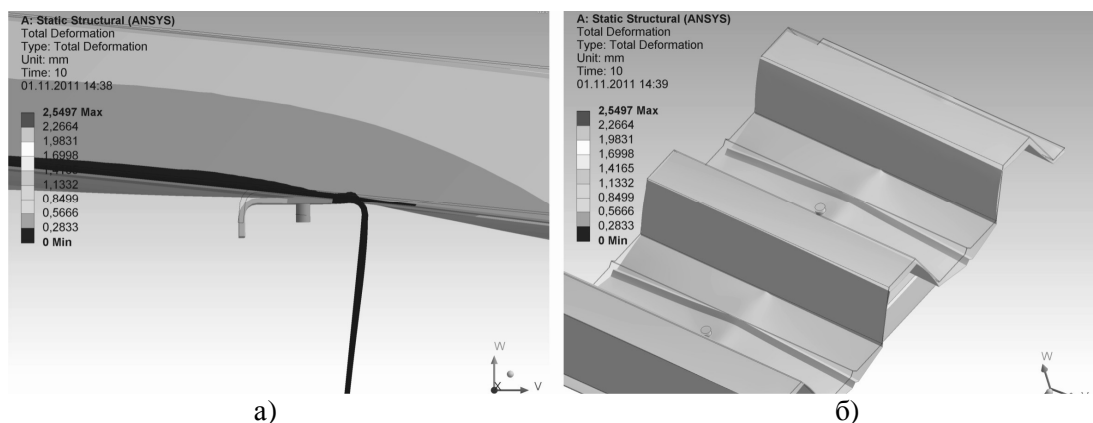


Рис. 3. Деформированная схема модели: а – полки термопрофиля; б – кровельного настила

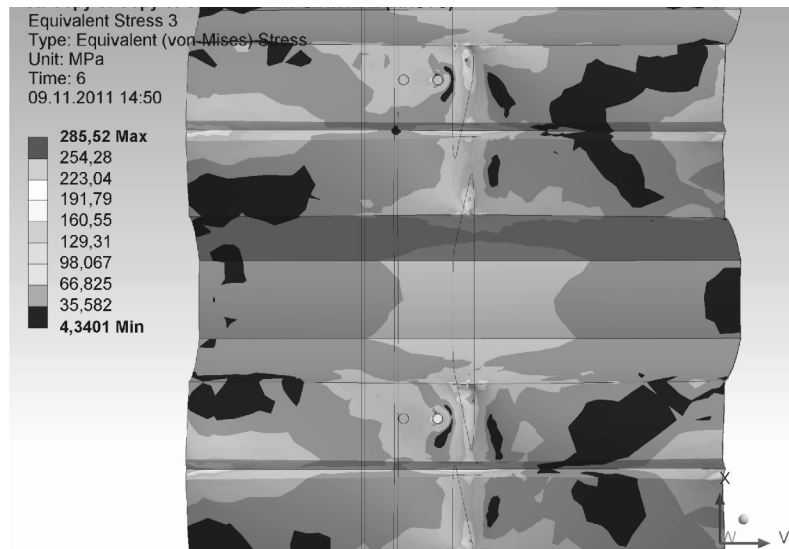


Рис. 4. Н.д.с профнастила при снеговой нагрузке, соответствующей  $\mu=4$

Подробного внимания заслуживает рассмотрение деформаций полки термопрофиля, поскольку от этого зависит величина рабочей зоны опирания профилированного настила. Деформация полки термопрофиля модели с разрезом по винту приведена на рис. 5. По анализу деформированной схемы модели можно сделать вывод, что в той части полки настила, где присутствует винт, зона отрыва настила от профиля существенно меньше, чем в той части полки, где винт отсутствует. Однако, анализируя методику расчета на устойчивость стенки настила и н.д.с. модели на разных этапах нагружения, можно сделать вывод, что опорная реакция практически полностью передается через стенку гофра профнастила. Ширина рабочей зоны стенки гофра профнастила изменяется в зависимости от этапа нагружения, но максимальная ее зона не превышает 20 мм.

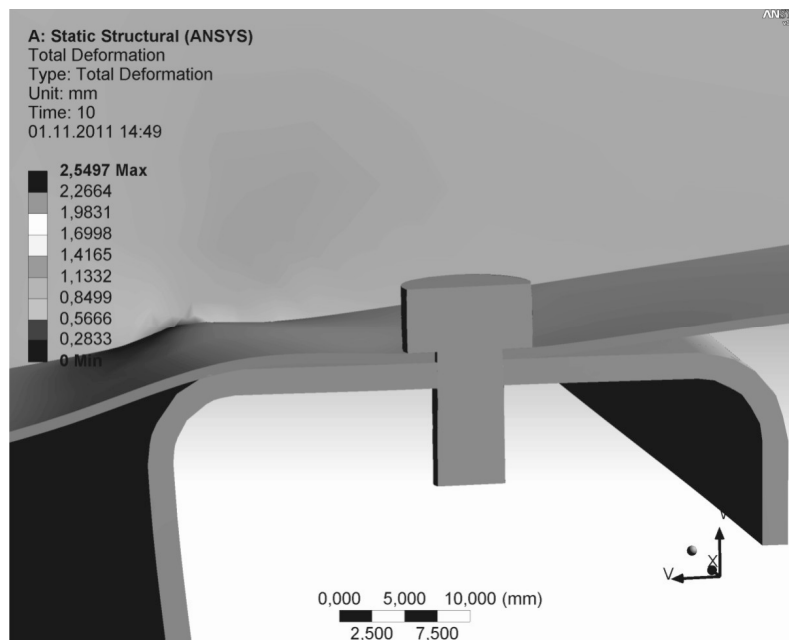


Рис. 5. Деформация полки термопрофиля и профилированного настила

С учетом проведенных выше исследований несущая способность настила, исходя из обеспечения устойчивости стенки на опоре, вычисляется согласно [5] и приведена в таблице 2, при шаге термопрофилей 1,5 и 3 м.

Таблица 2

## Несущая способность кровельного профилированного настила

Шаг термопрофилей (пролет настила)		Предельная нагрузка на настил Н57-750-0.7 (кг/м) на метр ширины	
		Из условия прочности	Из условия устойчивости
4-х пр.	1,5 м	1669	413
	3 м	417	190
3-х пр.	1,5 м	1786	430
	3 м	446	198

Исследования и сравнительный анализ результатов расчетов приведены в таблицах 1 и 2 и показывают:

- несущая способность кровельного настила при наличии тонкостенных термопрофилей определяется устойчивостью его стенки на опоре;
- рассмотренные примеры (табл. 1 и табл. 2) показывают, что несущая способность кровельных листов с учетом деформации термопрофилей снижается в 1,9 раза и недостаточна для восприятия снеговой нагрузки в зонах перепада высот и условий г. Елабуга;
- рассмотрены конечно-элементные модели системы термопрофиль – кровельный настил, которые достаточно точно отражают действительную работу, что подтверждается количественным и качественным совпадением результатов расчета и фактического разрушения кровли (рис. 1, рис. 4).

**Выводы**

Приведенные исследования показывают на необходимость при определении несущей способности комбинированной кровли рассматривать несущую способность системы термопрофиль – кровельный настил.

**Список литературы**

1. Материалы для проектирования наружных ограждающих конструкций с применением стальных гнутых термопрофилей ИНСИ. Шифр 66-00-МП. – Омск: УИД НИС Сиб. АДИ, 2003. – 49 с.
2. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО «Балтпрофиль». – М.: ЦНИИПСК, 2004. – 70 с.
3. Lindab-Astron. Каталог продукции. URL: <http://www.lindab-astron.ru> (дата обращения: 4.01.2012).
4. Производственный корпус г. Елабуга, РТ. Чертежи КМ шифр 0801-661/2КМ. – Кемерово, 2008.
5. Пособие по проектированию стальных конструкций к СНиП II-23-81 Стальные конструкции. – ЦНИИСК им. Кучеренко, Госстрой СССР, 1989. – 48 с.

**Kuznetsov I.L.** – doctor of technical science, professor

E-mail: [kuz377@mail.ru](mailto:kuz377@mail.ru)

**Isaev A.V.** – candidate of technical science, associate professor

E-mail: [isaev@kgasu.ru](mailto:isaev@kgasu.ru)

**Gimranov L.R.** – candidate of technical science, assistant

E-mail: [leenur@mail.ru](mailto:leenur@mail.ru)

**Vahtel R.R.** – senior lecturer

E-mail: [v\\_roman@bk.ru](mailto:v_roman@bk.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## The Load Capacity Of Composite Steel Roof System

### Resume

In article the composite steel roof system are reviewing wich including certain steel deck, girder and roof deck. The example of damaging such roof system has reviewed and causes of this damaging were established. Through conducted research the finite element model was created by Ansys software this model included girder and roof steel deck. Calculating the capacity of the roof steel deck was held and established, that capacity depends on plate buckling in the local support area. The support is the flange of canal girder with 0,078 inch thick. The damaging of upper deck was caused by reducing of support area. The reducing of support area was achieved by deflection of the flange of the canal girder. The value of this deflection depends on thick of canal girder. Thus the damage of the composite roof system was located near the roof area with increasing snow load. For this reason such composite roof system with 0,078 inch thick of canal girder are not allowed in roof area with increasing snow load.

**Keywords:** composite roof system, steel deck, damage.

### References

1. Materials for design enclosure insulating systems from cold formed steel girders INSI. Code 66-00-MP. – Omsk: UID NIS Sib. ADI, 2003. – 49 p.
2. The design guide for manufacturing and erection single-store frames and mansards from cold formed galvanized steel elements made by ООО «Baltprofile». – M.: CNIIPSK, 2004. – 70 p.
3. Lindab-Astron. Catalog. URL: <http://www.lindab-astron.ru> (view data: 4.01.2012).
4. Manufacture store c. Alabuga RT. Blueprints K.M. Code 0801-661/KM. – Kemerovo, 2008.
5. «The design guide of the steel structures to SNiP II-23-81 «Steel Structeres». – CNIISK named by Kucherenko, Gosstroy USSR, 1989. – 148 p.