

УДК 693;539.4

Страхов Дмитрий Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: strachovde@mail.ru

Гимранов Линур Рафаилович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: leenur@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Нураев Игорь Александрович

инженер

E-mail: nuraev.ig@gmail.com

Производственно-строительное объединение «Казань»

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. Толстого, д. 14а

Исследование снегоблокирующих заграждений фальцевого типа кровли

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – проведение испытаний крепления защитного ограждения крыши, нагрузкой, применимой для данных конструкций, непосредственно на объекте и в лабораторных условиях. Выполнение численного эксперимента испытания снегоблокирующих заграждений крыши.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в получении несущей способности ограждения, как без применения предварительного натяжения креплений и болтов различных классов, так и при применении предварительного натяжения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в определении безопасной эксплуатации рассматриваемых элементов конструкций.

Ключевые слова: снегоблокирующие заграждения, фальцевая кровля, расчетные модели, безопасная эксплуатация, кровли, конструкции снегодержателей.

Введение

На сегодняшний день крыши зданий, предназначенные для защиты от осадков, ветра и солнечной радиации, становятся все сложнее и многообразнее в планах, в том числе, в виде сочетания различных сложных геометрических фигур. В целях правильной работы, кровля выполняется в виде системы наклонных плоскостей, данные скаты кровли в достижении архитектурной выразительности, проектируются с разными углами наклона, типами покрытий, и кровельными материалами. При этом не стоит забывать о безопасности данных элементов конструкций, в первую очередь это падение снежных масс в период интенсивного снеготаяния, влекущее за собой различное испорченное имущество, вплоть до человеческих жизней. Установка различных конструкций снегозадержателей способствует безопасности, и придает новый вид и архитектурную выразительность крышам.

В данной работе проведено исследование снегоблокирующих заграждений для фальцевого типа кровли, прикрепляющихся непосредственно к стоячему типу фальцев, не нарушающих целостности всей кровли. Проведено испытание крепления защитного ограждения крыши, нагрузкой, применимой для данных конструкций, непосредственно на объекте и в лабораторных условиях. Проведен численный эксперимент испытания снегоблокирующих заграждений крыши.

Получена несущая способность ограждения как без применения предварительного натяжения и болтов различных классов, так и при применении предварительного натяжения.

Исследование заграждений для фальцевого типа кровли

В выполненной работе, проведен анализ типового дефекта крепления ограждения, приведшего к обрушению конструкций ограждений (рис. 1).

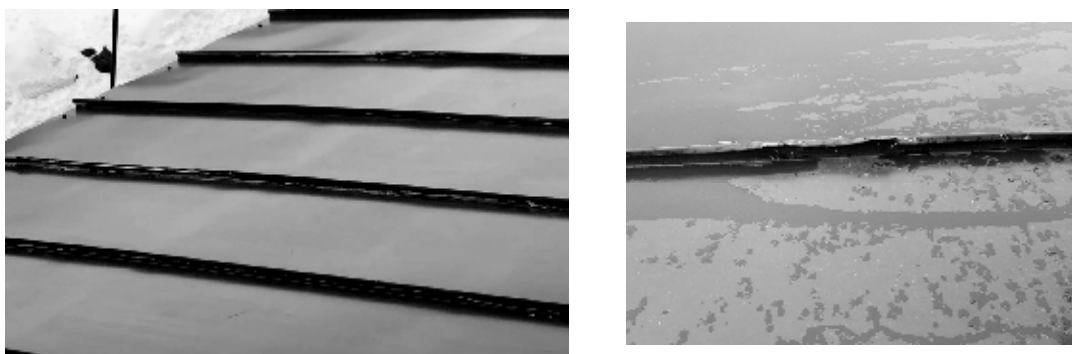


Рис. 1. Деформации фальцев после обрушения конструкции ограждения (иллюстрация авторов)

На практике, прочность ограждения крыш зданий проверяется путем прикладывания горизонтальной нагрузки $0,54 \text{ кН}$ в точках, расположенных на расстоянии не более 10 м друг от друга по всему периметру здания.

Нагрузка удерживается в течение 2 минут . После снятия нагрузки, остаточной деформации и нарушения целостности конструкции быть не должно.

Натурное испытание ограждения произведено после воздействия на него снеговой нагрузки в период эксплуатации. Схема проведения испытаний ограждения крыши здания, и остаточные деформации, в виде проскальзывания элементов крепления ограждения, достигающие 6 мм (рис. 2).



Рис. 2. Схема проведения натурных испытаний, деформации крепления (иллюстрация авторов)

Для всестороннего анализа конструкции крепления ограждения, выполнено два вида нагружений на испытательном стенде:

- нагрузка $0,54 \text{ кН}$ с выдержкой в течение 2 минут ;
- определение предельной нагрузки (предельной нагрузкой считалась такая нагрузка, при которой происходил отрыв крайнего кронштейна от фальца крыши).

Проведение испытаний ограждения крыши (рис. 3-5). Вид ограждения после проведения испытания (рис. 6-9).

По результатам испытаний сделаны следующие выводы:

- после снятия статически приложенной нагрузки $0,54 \text{ кН}$ с выдержкой в течение 2 мин выявлены остаточные деформации элементов крепления по отношению к плоскости крыши (рис. 6-7). Остаточные деформации, проявившиеся вследствие проскальзывания элементов крепления и деформации фальцев, достигают 4 мм .

- определена предельная нагрузка, на ограждение крыши (предельной нагрузкой считалась такая нагрузка, при которой происходит отрыв крайнего кронштейна от фальца крыши, составляющая 70 кгс (рис. 8)).

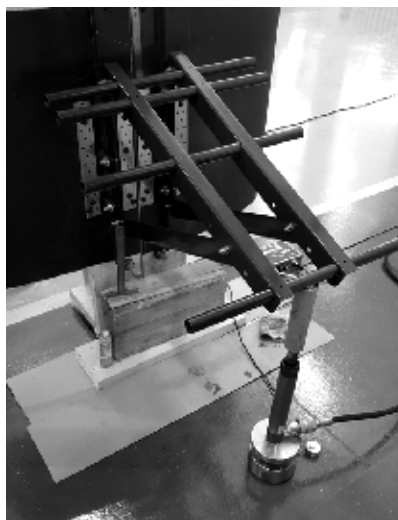


Рис. 3. Испытательный стенд (испытание ограждения крыши) (иллюстрация авторов)

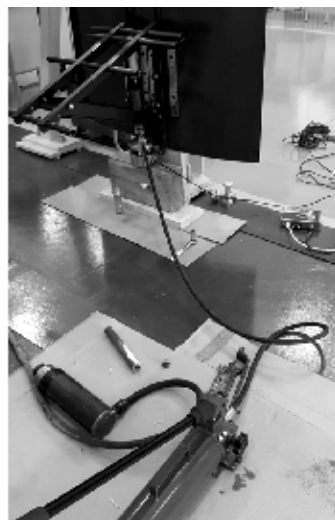


Рис. 4. Испытательный стенд (испытание снегозадержателя крыши) (иллюстрация авторов)

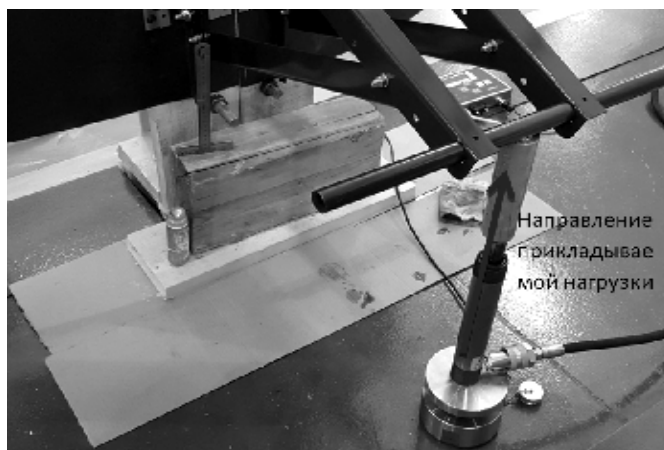


Рис. 5. Проведение испытаний ограждения крыши (иллюстрация авторов)



Рис. 6. Проведение испытаний ограждения крыши (деформации фальцев) (иллюстрация авторов)



Рис. 7. Проведение испытаний ограждения крыши (деформации фальцев) (иллюстрация авторов)

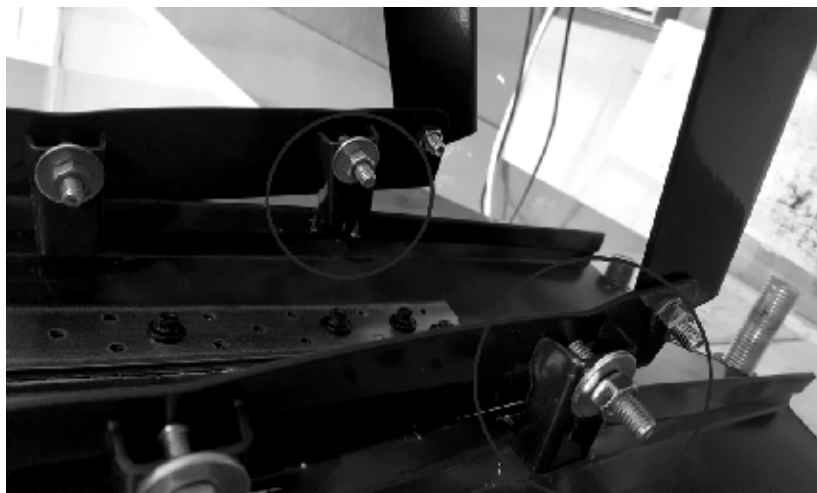


Рис. 8. Проведение испытаний ограждения крыши (отрыв крайних креплений от фальца, деформация элементов ограждения) (иллюстрация авторов)

При установке снегодержателя в конструкцию ограждения крыши со смещением места приложения нагрузки (рис. 9), проведено определение предельной нагрузки, (предельной нагрузкой считалась такая нагрузка, при которой происходило проскальзывание креплений (сдвиг кронштейнов) по фальцу крыши), составившей по результатам испытаний 100 кгс.



Рис. 9. Проведение испытаний снегозадержателя крыши (проскальзывание креплений, разворот крайнего крепления) (иллюстрация авторов)

Численный эксперимент испытания ограждения крыши

Расчетная модель ограждения представляет собой конечно-элементную модель состоящую из: кронштейнов крепления к кровельным листам; участков кровельных листов в зоне фальцевания левый и правый; болтов М8; уголков ограждения для создания реальных условий загрузки.

Расчетная модель кронштейна ограждения-снегозадержателя приведена на рис. 10. Вид кронштейна крепления ограждения к крыше (рис. 11).

В качестве нагрузки прикладывается погонная нагрузка уголку ограждения вдоль ската кровли. Рассматривается только скатная составляющая

Погонная нагрузка определялась как:

$$q_r = g_{sp} \cdot \sin \alpha \cdot b,$$

где g_{sp} – расчетная снеговая нагрузка, α – угол наклона кровли, b – шаг кронштейнов.

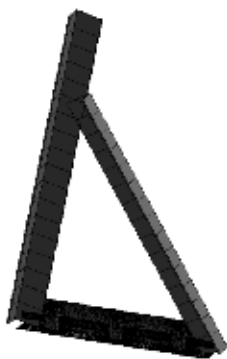


Рис. 10. Расчетная модель ограждения
(иллюстрация авторов)

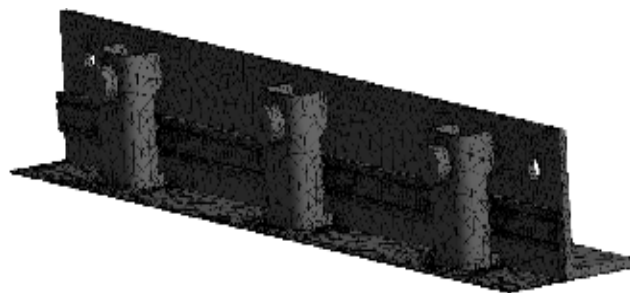


Рис. 11. Кронштейны крепления ограждения к крыше
в зоне фальцевого стыка (иллюстрация авторов)

Для определения критической погонной нагрузки на ограждение прикладывалась приблизительная нагрузка в 200 кг/м. Критическим значением этой нагрузки считалось то значение нагрузки, при котором была выявлена нелинейная работа модели, или сходимость расчета не обеспечивалась.

Результаты расчета отображаются для двух этапов нагружения:

- затяжка всех болтов с контролируемым натяжением до $0,7 \cdot R_{\text{буп}}$ высокопрочных болтов класса 10.9.
- приложение погонной нагрузки к ограждению от 0 до 200 кг/м.

Результаты расчетов приведены на рис. 12-15.

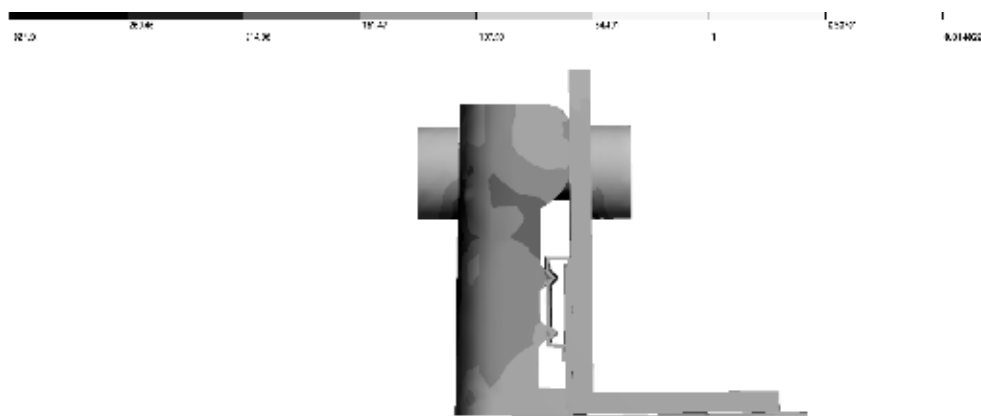


Рис. 12. Распределение приведенных напряжений в кронштейне при затяжке болтов
(иллюстрация авторов)

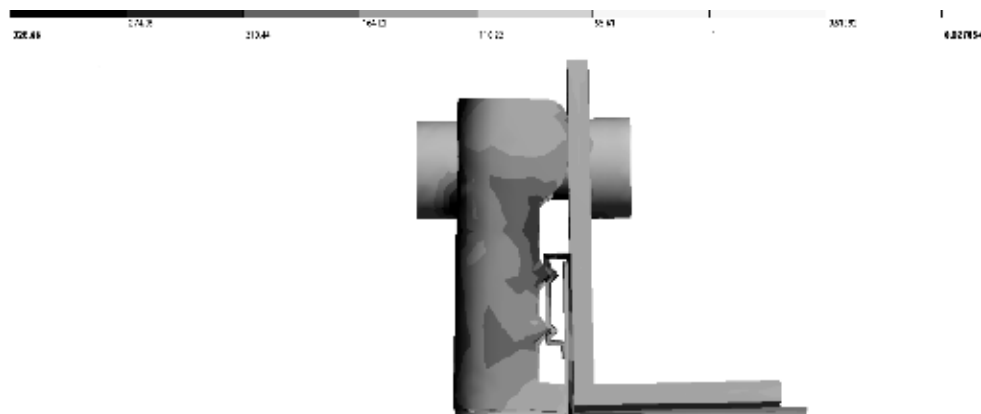


Рис. 13. Распределение приведенных напряжений в кронштейне
при исчерпании несущей способности ограждения (иллюстрация авторов)



Рис. 14. Деформации в кровельном листе в момент исчерпания несущей способности (иллюстрация авторов)

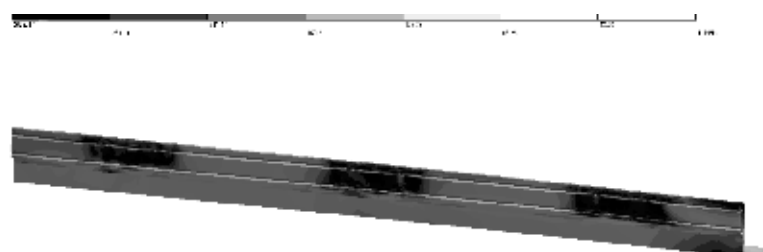


Рис. 15. Мозаика приведенных напряжений в момент исчерпания несущей способности ограждения (иллюстрация авторов)

Исчерпание несущей способности ограждения происходит в момент выскальзывания зуба из фальца у кронштейна, работающего на отрыв (рис. 16).

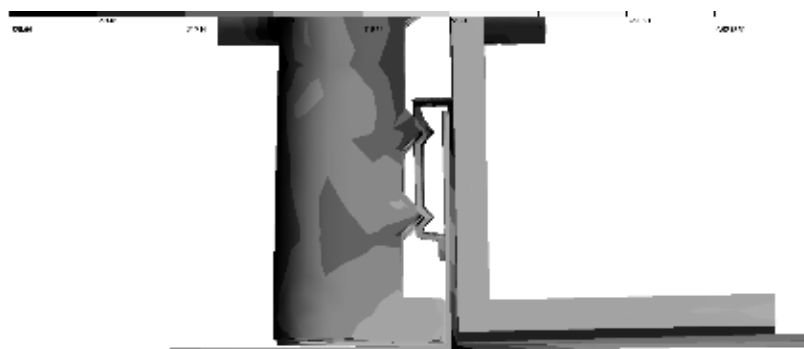


Рис. 16. Момент выскальзывания зуба из зацепа (иллюстрация авторов)

График зависимости горизонтального перемещения верхнего конца ограждения от поэтапного приложения нагрузки приведено на рис. 17.

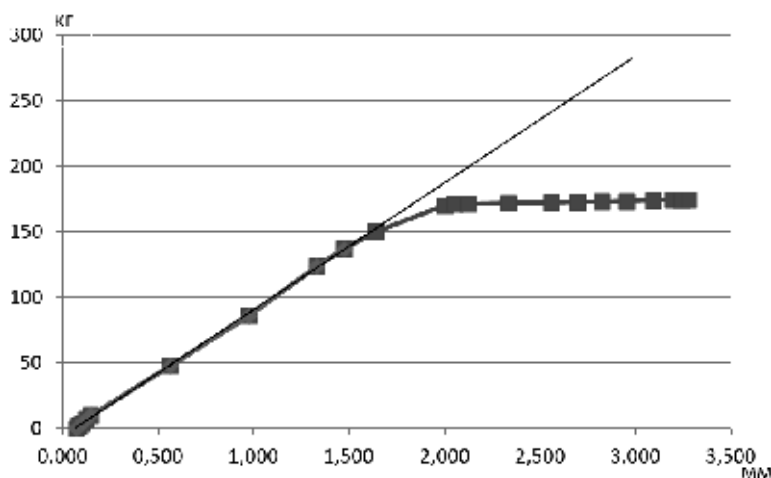


Рис. 17. График зависимости перемещений ограждения от приложенной нагрузки (иллюстрация авторов)

Анализируя график, можно сделать вывод, что исчерпание нагрузки происходит при значении погонной нагрузки равному 140 кг/м.

Учитывая коэффициент надежности равный 1,3, критическое значение погонной нагрузки при затяжке из высокопрочных болтов класса 10.9 составит:

$$[q_{кр10,9}] = 140/1,3 = 107,7 \text{ кг/м,}$$

что так же соответствует локальной, приложенной на конце, нагрузке равной:

$$F = [q_{кр10,9}] \cdot l/2 = 107,7 \cdot 0,61/2 = 32,8 \text{ кг.}$$

Несущая способность ограждения-снегоудержателя обеспечена если:

$$q_r < [q_{кр10,9}].$$

Оценивая напряжено-деформированное состояние узла крепления кронштейна, и анализируя характер исчерпания несущей способности, можно сделать вывод, что ключевым фактором, приводящим к потере зацепа зубом в кровельном листе в месте фальца, является сама геометрическая форма кронштейна с зубьями. При любом значении предварительного натяжения в болте, его влияние нивелируется геометрией кронштейна, так как он имеет «П»-образную форму. Принципиальную статическую схему «П»-образного кронштейна можно охарактеризовать как схему консольной балки, заделка которой обеспечивается прижатием верхней части «П»-образного кронштейна к уголку (рис. 18) с разложением момента заделки на пару сил F . Загружение в схеме осуществляется движением уголка вверх, при этом зуб, упираясь в углубление в кровельном листе, создает усилие от опорной реакции.

Выбор болтов марки 10.9 для создания предварительного натяжения был осуществлен намеренно для выявления максимальной несущей способности ограждения-снегоудержателя с «П»-образным кронштейном в данной конфигурации. Однако, учитывая выше сказанное, усилие преднатяжения болтов слабо влияет на несущую способность соединения. Стоит отметить, что полное отсутствие затяжки болтов и установка кронштейнов с люфтом заведомо является аварийной ситуацией и в расчетах не рассматривается.

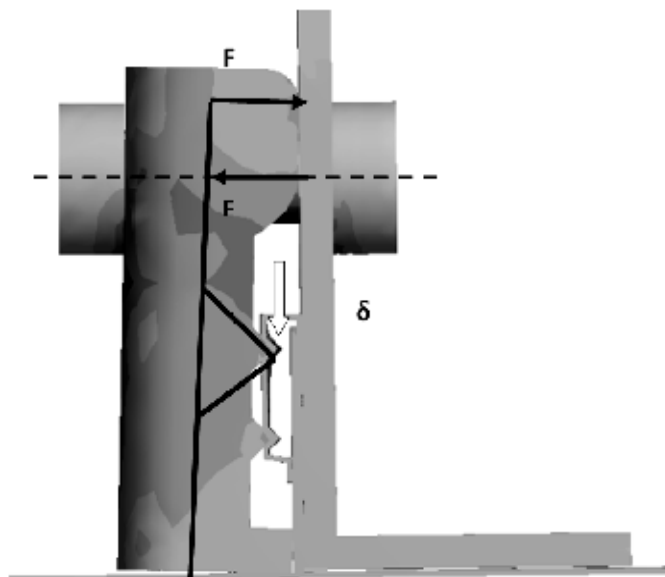


Рис. 18. Принципиальная схема работы кронштейна (иллюстрация авторов)

В качестве подтверждения данной гипотезы работы кронштейна было проведено численное моделирование при отсутствии какого-либо преднатяжения болтов. Его результаты (пунктирная линия) приведены на рис. 19.

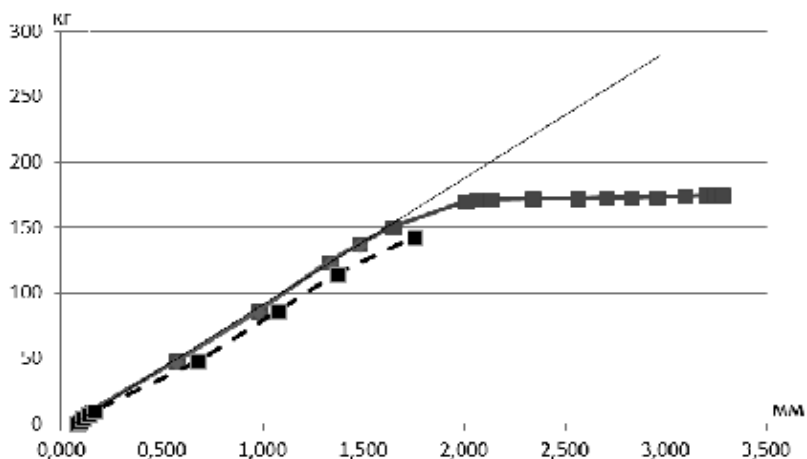


Рис. 19. График зависимости перемещений ограждения от приложенной нагрузки (иллюстрация авторов)

Анализируя график можно сделать вывод, что исчерпание нагрузки происходит при значении погонной нагрузки равного 114 кг/м.

Учитывая коэффициент надежности равный 1,3, критическое значение погонной нагрузки при затяжке из болтов класса 5.8 без контролируемого натяжения:

$$[q_{кр5,8}] = 114 / 1,3 = 87,6 \text{ кг/м,}$$

что так же соответствует локальной нагрузке приложенной на конце нагрузке равной:

$$F = [q_{кр5,8}] \cdot l/2 = 87,6 \cdot 0,61/2 = 26,7 \text{ кг.}$$

По результатам проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

Несущая способность ограждения, при применении предварительного натяжения и болтов классом 10.9, составляет 107,7 кг/м или 32,8 кг в эквиваленте локальной силы, приложенной в верхней точке ограждения;

Несущая способность ограждения без применения предварительного натяжения и болтов классом 5.8 составляет 87,6 кг/м или 26,7 кг в эквиваленте локальной силы, приложенной в верхней точке ограждения.

Заключение

Проведение испытаний крепления защитного ограждения крыши нагрузкой, применимой для данных конструкций, непосредственно на объекте и в лабораторных условиях, а также численный эксперимент испытания снеглоблерирующих заграждений крыши, позволил определить несущую способность ограждения, как без применения предварительного натяжения креплений и болтов различных классов, так и при применении предварительного натяжения. Данные виды исследований позволили определить значения нагрузок, для безопасной эксплуатации рассматриваемых элементов конструкций.

Список библиографических ссылок

1. James Buska, Wayne Tobiasson. Minimizing The Adverse Effects Of Snow And Ice On Roofs // International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST-2001) Ottawa, Canada. P. 339–346.
2. Mackinlay I., Flood R., Heidrich A. Roof Design in Regions of Snow and Cold // Proceedings, Fourth International Conference on Snow Engineering, Balkema, Rotterdam. P. 213–224.
3. Tobiasson W. General Considerations for Roofs. Chapter 16 in ASTM Manual 18, Moisture Control in Buildings, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA. P. 291–320.

4. Кренке А. Н. Динамика масс снега и льда. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 456 с.
5. Дедовской И. В. Анализ теории максимальных значений веса снега на грунте // Вестник гражданских инженеров. 2004. № 1. С. 56–60.
6. Савельев В. А., Малый В. И., Павлов А. В., Калашников Г. В., Мейтин В. И. Предложения по назначению расчетной снеговой нагрузки // Пром. и гражд. стр.-во. 2008. № 5. С. 25–28.
7. Ледовской И. В. О накоплении снега на грунте : сб. трудов Межвуз. темат. Исследования по механике строительных конструкций и материалов / СПбГАСУ. СПб., 2002. С. 70–89.
8. Ледовской И. В. Снеговая нагрузка на покрытие отапливаемого здания // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 2 (15). С. 31–36.
9. Кузнецов И. Л., Салахутдинов М. А., Гайнетдинов Р. Г. Исследование напряженно-деформированного состояния болтового узла соединения из холодногнутых тонкостенных профилей // Вестник МГСУ. 2019. № 7. С. 831–843.
10. Кузнецов И. Л., Фахрутдинов Р. Р., Рамазанов Р. Р. Результаты экспериментальных исследований работы соединений тонкостенных элементов на сдвиг // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 34–43.
11. Jozef Oláh1, Michal Šida1. Contribution to the snow protection solutions for pitched roofs // MATEC Web of Conferences 93. 2017. 47, 010.
12. Просяников Б. Д. Болтовое соединение с взаимным продавливанием соединяемых тонкостенных профилей // Вестник томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (55). С. 130–138.

Strahov Dmitry Evgenievich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: strahov@kgasu.ru

Gimranov Linur Rafailevich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: leenur@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Nuraev Igor Alexandrovich

engineer

E-mail: nuraev.ig@gmail.com

Industrial and Construction Association «Kazan»

The organization address: 420015, Russia, Kazan, Tolstoy st., 14a

Researching of snow retention system on welted seam pitched roofs**Abstract**

Problem statement. The purpose of the study is to determine load bearing capacity of a particular snow retention system installed on pitched, welted seam roofs by utilizing bolt tightened locks.

Results. The main results of the research includes obtained theoretical and experimental values of load bearing capacity of roof snow retention system installed on pitched welted seam roof elements with particular type of locking mechanism. Also as a result of a study failure mode and sequence is established and determined advantages and disadvantages of snow retention system of interest.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry is in the values of load bearing capacity of such retention system. Obtained failure modes of the retention system its pros and cons.

Keywords: snow retention system, welted seam roofs, FEM analysis, experimental studies.

References

1. James Buska, Wayne Tobiasson. Minimizing The Adverse Effects Of Snow And Ice On Roofs // International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST-2001) Ottawa, Canada. P. 339–346.
2. Mackinlay I., Flood R., Heidrich A. Roof Design in Regions of Snow and Cold // Proceedings, Fourth International Conference on Snow Engineering, Balkema, Rotterdam. P. 213–224.
3. Tobiasson W. General Considerations for Roofs. Chapter 16 in ASTM Manual 18, Moisture Control in Buildings, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA. P. 291–320.
4. Krenke A. N. Dynamics of snow and ice masses. L. : Gidrometeoizdat, 1985. 456 p.
5. Dedovskoj I. V. Analysis of the theory of maximum snow weight on the ground // Vestnik grazhdanskih inzhenerov, nauchno-tehn. 2004. № 1. P. 56–60.
6. Savel'ev V. A., Malyj V. I., Pavlov A. V., Kalashnikov G. V., Mejtin V. I. Suggestions for the designation of the estimated snow load // Prom. i grazhd. str-vo. 2008. № 5. P. 25–28.
7. Ledovskoy I. V. On the accumulation of snow on the ground: collection. Proceedings of the University. topics Studies in the mechanics of building structures and materials / SPbGASU. St. Petersburg, 2002. P. 70–89.
8. Ledovskoj I. V. Snow load on a heated building covering // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2008. № 2 (15). P. 31–36.
9. Kuznetsov I. L., Salakhutdinov M. A., Gainetdinov R. G. Investigation of the stress-strain state of a bolt joint assembly from cold-formed thin-walled profiles // Vestnik MGSU. 2019. № 7. P. 831–843.
10. Kuznetsov I. L., Fakhrutdinov R. R., Ramazanov R. R. The results of experimental studies of the work of compounds of thin-walled elements in shear // Vestnik MGSU. 2016. № 12. P. 34–43.
11. Jozef Oláh1, Michal Šida1. Contribution to the snow protection solutions for pitched roofs» // MATEC Web of Conferences 93. 2017. 47, 010.
12. Prosjanikov B. D. Bolt joint with mutual punching of connected thin-walled profiles // Vestnik tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. № 2 (55). P. 130–138.