

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ КРОВЕЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ

Ильдияров Е.В., Холопов И.С. Мосесов М.Д.

ГОУ ВПО «Самарский Государственный архитектурно-строительный университет».

(г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, ауд. 203) ildevgeni@rambler.ru, kholop@rambler.ru

В статье представлены расчеты ветровой нагрузки на кровельные конструкции с учетом введения СП 20.13330.2011 – актуализированной редакции СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия», по полученным данным проанализированы нагрузки на элементы крепления в разработанных узлах крепления кровельных панелей типа «сэндвич». Представлены результаты экспериментально-теоретических исследований на выдергивание винта крепления панели и моделирование узла на пассивное давление ветра (отсос) узла кровельной панели. На основе метода конечных элементов предложена расчетная модель узла крепления панелей с гофрированными обшивками. По результатам расчета представлено напряженно-деформированное состояние гофра от нагрузки, приложенной к винту крепления. Произведен натурный эксперимент по определению реального характера распределения напряжений в элементах гофрированной обшивки в месте установки винта крепления. Предложено решение по усилению опорной зоны винтов в узлах крепления панелей. На основании расчетов по разработанной модели рекомендованы параметры элемента для усиления узла крепления.

Ключевые слова: ветровая нагрузка, трехслойная кровельная панель, крепление панелей.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF ROOF PANEL MOUNTING UNIT UNDER THE INFLUENCE OF WIND POWER

Ildiyarov E.V., Kholopov I.S., Mosesov M.D.

GOU VPO Samara State Architecture and Civil Engineering.

(Samara, Molodogvardeiskaya, 194 -203) ildevgeni@rambler.ru, kholop@rambler.ru

The paper presents calculations of wind loads on roof structures, taking into account the introduction of SP version 20.13330.2011 SNiP 2.01.07-85 * "Loads and effects" from the data analyzed by the load on the fastening elements in the nodes developed mounting roof panels "sandwich". Presents the results of experimental and theoretical studies on pulling screws holding the panel and simulation node to the passive wind pressure (suction) of the node roof panels. On the basis of the finite element method proposed theoretical model of the mount panels with corrugated sheathing. Results are presented on the stress-strain state of corrugations on the load applied to the screw fastening. Produced a full-scale experiment to determine the real nature of the stress distribution in the elements of the corrugated sheathing in place of installation screws. Proposed solution to enhance the core zone of the screws at the sites of attachment of panels. Based on calculations of the model parameters are recommended to enhance the element of the mount.

Keywords: wind load, three-layer roof panel, mounting panels.

Постоянное развитие нормативной базы приводит к необходимости корректировки методики расчета строительных конструкций и ограждений. С введением СП 20.13330.2011

– актуализированной редакции СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» [2], расчетные и нормативные нагрузки на кровельные конструкции изменились. Так, в соответствии с пунктом 11 [2], для зданий и сооружений необходимо учитывать как основную ветровую нагрузку, так и пиковые значения ветровой нагрузки, действующие на конструктивные элементы ограждения и элементы их крепления.

В соответствии с пунктом 11.1.2 [2], нормативное значение ветровой нагрузки w определяется как сумма средней w_m и пульсационной w_p составляющих:

$$w = w_m + w_p,$$

В качестве примера рассмотрим здание пролетом 24 м, длиной 60 м и высотой 10 м с уклоном кровли до 15°. Район строительства – III (в скобках указаны соответствующие значения для VI района), тип местности – А. В соответствии с рисунком Д.4 и таблицей Д.3а, в торцевой зоне (F) аэродинамический коэффициент составляет – 0,9, размеры площади загрузки составляют $e/4$ и $e/10$, где e – минимальное значение из ширины или удвоенной высоты здания. Таким образом, размеры составляют $20/4 = 5$ м и $20/10 = 2$ м. Тогда:

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c = 0,38 \text{ кПа} \cdot 1 \cdot (-0,9) = -0,342 \text{ } (-0,657) \text{ кПа},$$

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v = -0,342 \text{ кПа} \cdot 0,76 \cdot 0,65 = -0,169 \text{ } (-0,325) \text{ кПа},$$

$$w = -0,342 + (-0,169) = -0,511 \text{ } (-0,982) \text{ кПа}$$

В средней зоне (Н) аэродинамический коэффициент $c = -0,3$, и величина нагрузки составит:

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c = 0,38 \text{ кПа} \cdot 1 \cdot (-0,3) = -0,114 \text{ } (-0,219) \text{ кПа},$$

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v = -0,114 \text{ кПа} \cdot 0,76 \cdot 0,65 = -0,056 \text{ } (-0,108) \text{ кПа},$$

$$w = -0,114 + (-0,056) = -0,17 \text{ } (-0,327) \text{ кПа}$$

В строительстве промышленных зданий широко применяются кровельные сэндвич панели с минераловатным средним слоем [1, 4]. По технологическим требованиям кровельная панель не может быть длиной больше 11,8 м, соответственно, скат пролета в 12 м перекроется не менее чем двумя панелями по 6 м (без учета свеса). Рекомендуемый пролет [5] несущих прогонов для IV снегового района – 2 м. При заводской ширине панели 1 м вся торцевая панель находится в области повышенного пассивного давления. При неразрезной двухпролетной схеме пролетами по два метра опорная реакция над средней опорой в торцевой зоне составит:

$$R = 2 \cdot 0,625 \cdot (-0,511) \text{ кПа} \cdot 2 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} = -1,28 \text{ } (-2,455) \text{ кН},$$

а в средней зоне:

$$R = 2 \cdot 0,625 \cdot (-0,17) \text{ кПа} \cdot 2 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} = -0,425 \text{ } (-0,818) \text{ кН}.$$

При пассивном давлении («отсосе») опорные реакции от кровельной панели воспринимаются винтами крепления. По конструктивным требованиям минимальное количество винтов крепления составляет две штуки на прогон [5]. Таким образом, для

торцевой зоны усилие на разрыв в одном винте составляет $1,28 \text{ кН}/2 = 0,64 \text{ (1,23) кН}$, в средней зоне – $0,425 \text{ кН}/2 = 0,213 \text{ (0,409) кН}$. Согласно [5], крепление панелей осуществляется только в гофрах. Соответственно, максимальное количество крепежных винтов ограничивается количеством гофров и составляет от трех до пяти (в зависимости от производителя).

Аналогично определим усилие в винтах крепления от пикового значения ветровой нагрузки. Пиковое значение ветровых нагрузок определяется в соответствии с пунктом 11.2 [2] по формуле:

$$w = w_0 \cdot k(z_e) \cdot [1 + \zeta(z_e)] \cdot C_{p+} \cdot v_+$$

При расчете пиковых нагрузок значения аэродинамических коэффициентов при пассивном давлении ветра составляют $s = -3,4$ в угловых зонах и $s = -2,4$ по торцам здания (таблица Д.12 [1]). Размеры угловых участков не превышают $e/5$, где e – минимальная из двух величин – длина или ширина здания (рисунок Д.24 [2]), а ширина грузовой площади по торцу здания составляет $e/10$. Соответственно, размеры грузовой площади составят: длина $24 \text{ м}/5 = 4,8 \text{ м}$ и ширина $24 \text{ м}/10 = 2,4 \text{ м}$. Нагрузка в угловых участках составит:

$$w = 0,38 \cdot 1 \cdot [1 + 0,76] \cdot (-3,4) \cdot 0,85 = -1,93 \text{ (-3,71) кПа}$$

Для тех же самых условий, но в торцевой зоне:

$$w = 0,38 \cdot 1 \cdot [1 + 0,76] \cdot (-2,4) \cdot 0,85 = -1,36 \text{ (-2,62) кПа}$$

Возможны два случая: первый – два пролета панели по 2 м (всего 4 м) располагаются в угловой зоне; второй – один пролет в угловой зоне, второй – в торцевой.

Для первого случая реакция над средней опорой составит:

$$R = 2 \cdot 0,625 \cdot (-1,93) \text{ кПа} \cdot 2 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} = -4,825 \text{ (-9,275) кН}$$

Для второго случая:

$$R = 0,625 \cdot (-1,93) \text{ кПа} \cdot 2 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} + 0,625 \cdot (-1,36) \text{ кПа} \cdot 2 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} = -4,113 \text{ (-7,92) кН}$$

Для первого случая и при двух винтах на прогон усилие на разрыв в одном винте составляет $4,825 \text{ кН}/2 = 2,413 \text{ (4,64) кН}$, для второго – $4,113 \text{ кН}/2 = 2,057 \text{ (3,96) кН}$. При креплении панели на прогон пятью винтами усилие в одном винте для первого случая составит $4,825 \text{ кН}/5 = 0,965 \text{ (1,855) кН}$, для второго случая $4,113 \text{ кН}/5 = 0,823 \text{ (1,584) кН}$.

Для анализа напряженно-деформированного состояния гофра при действии ветровой нагрузки были выполнены расчеты с применением ВК Лира 9.4. Разработана расчетная модель на основе метода конечных элементов (МКЭ) с использованием трехузловых и четырехузловых пластинчатых элементов с шестью степенями свободы в узлах. Размеры гофра были приняты на основании технической информации, представленной в [5] следующими: высота гофра – 32 мм, ширина наклонных граней и верхней полки – 20 мм, толщина обшивки – 0,6 мм. В середине гофра предусматривалось отверстие под саморез

диаметром 5 мм. С учетом давления шайбы нагрузка прикладывалась по контуру шайбы. Усилия в винте, как показали расчеты, зависят от района строительства, от их количества на прогоне, для линейного расчета была выбрана нагрузка в винте крепления 1 кН . На рисунках 1, 2 представлены распределения нормальных (мембранных) напряжений σ_x и моментов M_x в пластинчатых элементах гофра. По величинам изгибающих моментов определялись изгибные напряжения в соответствующих элементах. Как видно из рисунков 1, 2, мембранные напряжения ($\sigma_x = -65,5 \text{ МПа}$, $\sigma_y = -30,8 \text{ МПа}$) не превышают расчетного сопротивления материала ($R_y = 240 \text{ МПа}$). Максимальное изгибающее усилие, как видно из рисунка 3, составляет $0,161 \text{ кН м/м}$, соответственно, напряжения от данного усилия составят:

$$\sigma = 6 \cdot M / t^2 = 6 \cdot 0,161 / 0,0006^2 = 2\,683\,333 \text{ кПа} = 2\,683 \text{ МПа}$$

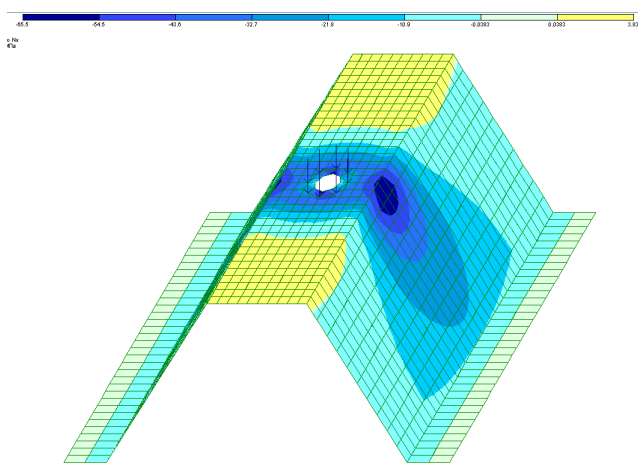


Рисунок 1. Распределение напряжений σ_x

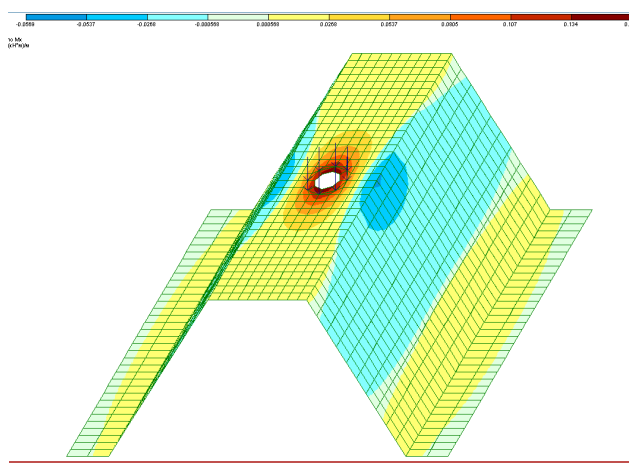


Рисунок 2. Распределение моментов в пластинках M_x

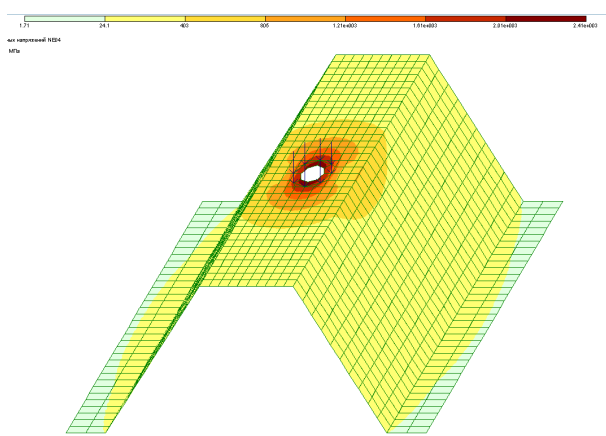


Рисунок 3. Распределение эквивалентных напряжений в пластинках

Эквивалентные напряжения (рисунок 3) составляют $2\,410 \text{ МПа}$, что превышает предел линейной работы материала обшивки.

Для подтверждения результатов расчета, полученных по расчетной модели, авторами при участии сотрудников кафедры МДК СГАСУ были проведены натурные испытания. Было проведено испытание четырех образцов. Параметры гофра: высота гофра 32 мм , ширина верхней полки и наклонных граней 20 мм , толщина обшивки $0,6 \text{ мм}$. В гофр кровельной панели были вкручены винты крепления. На выходе винтов к ним было прикреплено грузоприемное устройство, на которое укладывались штучные грузы известной величины. При этом контролировались следующие параметры: прогиб винта относительно гофрированной обшивки, напряжения в верхней полке гофра и по высоте гофра (рисунок 4). Прогиб

контролировался индикатором часового типа с ходом штока 10 мм (ИЧ 10). Напряжение контролировалось тензометрическими датчиками базой 5 мм, комплексом ММТС 64.01. Датчики наклеивались в верхней полке по оси отверстия: на расстоянии 5 мм от края отверстия – датчик №3, 15 мм – датчик №2, 25 мм – датчик №1 и по высоте гофра (рисунок 4).

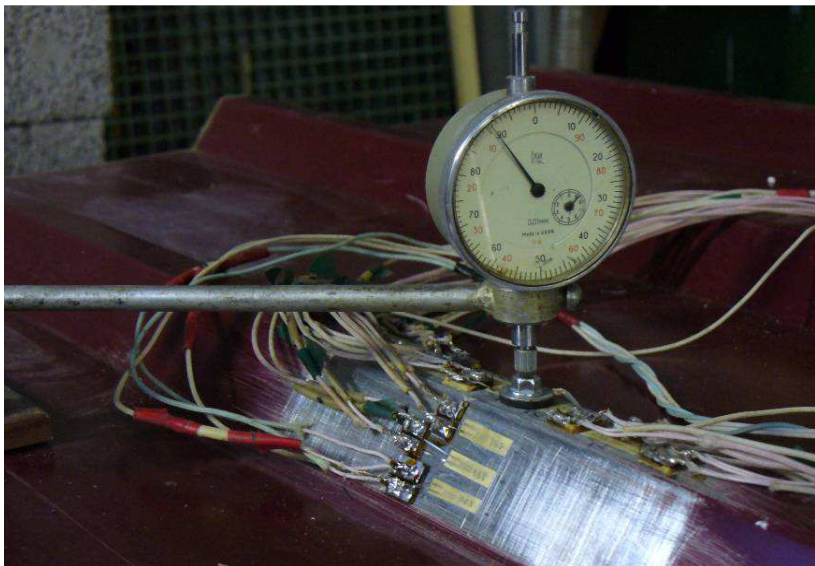


Рисунок 4. Фото испытательной установки

Результаты испытаний: смещение винта относительно гофрированной обшивки, напряжения в верхней полке представлены на рисунках 5 и 6 соответственно.

Как видно из рисунка 6, при нагрузке 0,58 кН напряжения в 3 датчике (в 5 мм от отверстия) составляют 240 МПа, что соответствует пределу линейной работы

материала обшивки. Винт смещается линейно до нагрузки 0,68 кН (рисунок 5). Целесообразно максимальную нагрузку на один винт крепления без изменения конструкции узла крепления ограничить величиной $0,68 \text{ кН} / 1,2 = 0,56 \text{ кН}$ (1,2 – коэффициент запаса [3]).

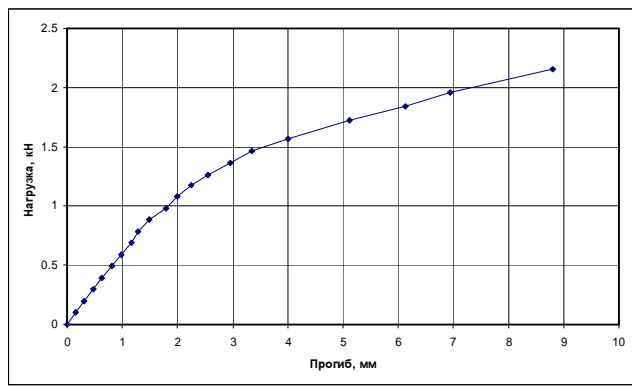


Рисунок 5. Прогиб винта относительно обшивки

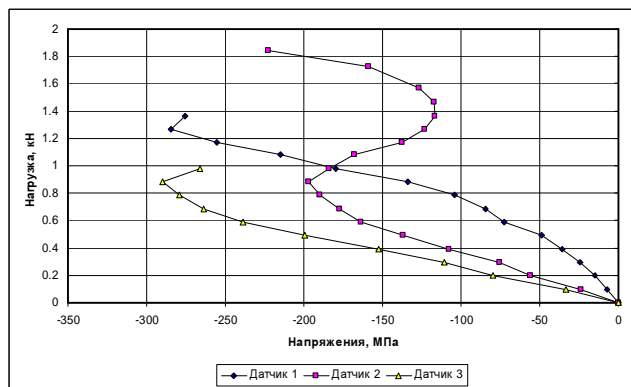


Рисунок 6. Зависимость напряжения в верхней полке гофра от нагрузки

При большем значении усилия в винте необходимо изменить узел крепления, усилив зону опирания головки винта на гофрированную обшивку введением дополнительного элемента из листовой стали, по форме повторяющего форму гофра. Толщина элемента усиления зависит от усилия в винте и представлена в таблице 1.

Усилие, кН	1, кН	2, кН	3, кН

Толщина элемента, мм	2	2,5	3
----------------------	---	-----	---

Выводы:

1. Для восприятия ветровых нагрузок в соответствии с СП 20.13330.2011 необходимо рассчитывать усилие в винтах крепления кровельных панелей и обеспечивать соответствующее крепление (количество винтов), не допуская превышение усилия в винте более 0,56 кН для панелей с толщиной обшивок 0,6 мм.
2. При невозможности уменьшения усилия в винтах крепления за счет увеличения их количества при креплении на прогон, авторами предложено производить усиление этих узлов введением дополнительных элементов из листовой стали, по форме повторяющих форму гофра и длиной 70 мм, при этом толщина элемента усиления зависит от усилия в винте крепления.

Список литературы

1. Губенко А.Б. Строительные конструкции с применением пластмасс. – М.: Стройиздат, 1970.
2. СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».
3. Стрелецкий Н. С. Металлические конструкции. – 2-е изд., перераб. – М.: Госстройиздат, 1952. – 852 с.
4. Тамплон Ф.Ф. Металлические ограждающие конструкции (для зданий, возводимых в суровых климатических условиях). – Л.: Стройиздат, 1988.
5. ТИ 084-09 Техническая информация. Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты на базальтовой основе. ЗАО «Самарский завод «Электроштит»-Стройиндустрия». – Самара, 2009.

Рецензенты:

Попов В.П., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технологии и организация строительного производства» Самарского государственного архитектурно-строительного университета, г. Самара.

Мурашкин Г.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Железобетонных конструкций» Самарского государственного архитектурно-строительного университета, г. Самара.
