

УДК 624.01/04:539.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ (НДС) ГОФРОКАРТОННОЙ СКЛАДКИ ТИПА «ГАРМОНЬ»

Иванов В.А., Иванов П.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Исследование многослойного гофрокартона. МГК получен путем склеивания трех слоев пятислойного. Расположение структурных слоев однонаправленное. Но не исключено продольно-поперечное ортогональное, косопоперекрестное неортогональное. Таким образом регулируется анизотропия материала и появляется возможность управления его прочностными и деформационными свойствами.

При расчете принят многослойный гофрокартон толщиной (H) – 22 мм, составленный из структурных слоев (h). Обычно гофрокартон выпускается с гофрой крупной – А (4,5...5,5), средней – С (3,5...4,4), мелкой – В (2,5...3,4) и микроволной – Е (1,14...1,58) (Рис.1).

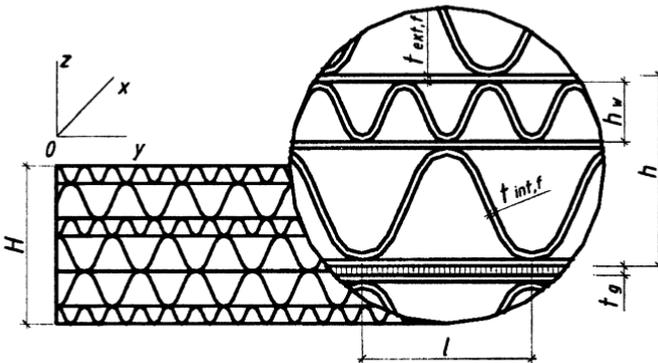


Рис.1 Структура многослойного влагопрочного гофрокартона
строительного назначения:

h_w – высота; l – шаг гофра; h – высота гофра; H – полная высота МГК;
 $t_{int.f}$ – толщина внутреннего плоского слоя; $t_{ext.f}$ – толщина наружных обшивок;
 t_g – толщина клевого шва.

Прочностные и деформационные характеристики полученные при испытании малых лабораторных образцов [1]:

- при продольном сжатии вдоль гофра $R_{cx} = 1,434$ МПа, $E_x = 47,4$ МПа;

- при продольном сжатии поперек гофра $R_{c,y} = 0,625$ МПа, $E_y = 35,5$ МПа;
- при сжатии нормально к плоскости наружных обшивок $R_{c,z} = 0,170$ МПа, $E_z = 2,6$ МПа;
- при сдвиге вдоль гофр $R_{сд,x} = 0,243$ МПа, $G_x = 14,8$ МПа;
- при сдвиге поперек гофр $R_{сд,y} = 0,071$ МПа, $G_y = 2,1$ МПа;
- коэффициент Пуассона вдоль волны (гофра) $\nu_{90,0} = 0,3$, а поперек $\nu_{0,90} = 0,03$.

Таким образом, гофрокартон – материал малопрочный и низкомодульный.

Статический расчет. Складка имеет поперечник, вписывающийся в дугу окружности. Надежная несущая способность обеспечивается при отношении стрелы подъема f к пролету l в интервале 1/2-1/3.

Расчетная схема представлена на рис.2.

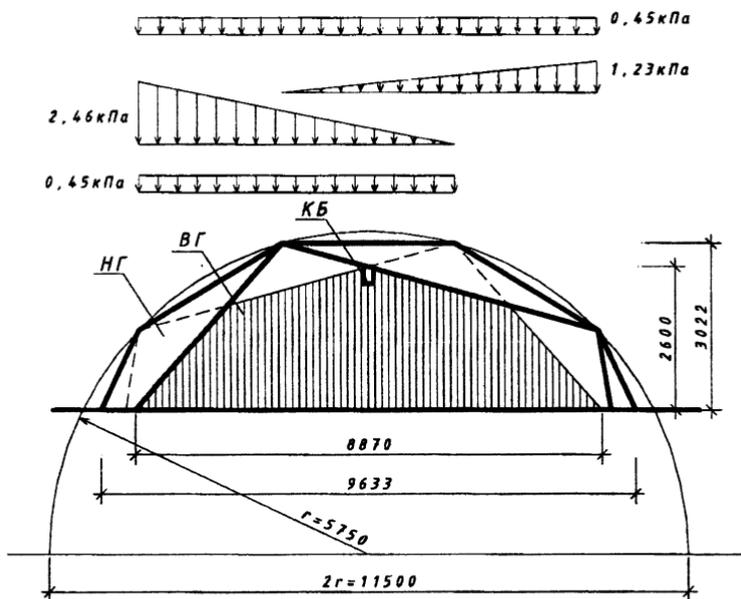


Рис. 2 Расчетная схема:

НГ – наружный габарит; ВГ – внутренний габарит; КБ – коньковый брус

Расчетные нагрузки – собственный вес конструкции, снег, температурно-влажностные воздействия, ветер, технологические и специальные нагрузки. Форма, значения и схема распределения нагрузок принимается согласно СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».

Многослойный гофрокартон имеет малую массу, составляющую $4,5 \text{ кг/м}^2$ ($\rho=225 \text{ кг/м}^3$).

Расчетная снеговая нагрузка принимается распределенной по средним ячейкам на полный пролет и на его половину. Нормативное значение веса снега (s_0) равно $0,7 \text{ кПа}$. Коэффициент надежности γ_f равен $1,6$. Коэффициенты перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие равны $\mu_1=0,4$ и $\mu_2=2,2$.

В продольном направлении сооружения его форма стабилизируется постановкой бруса в коньке, соединенного с поверхностью свода.

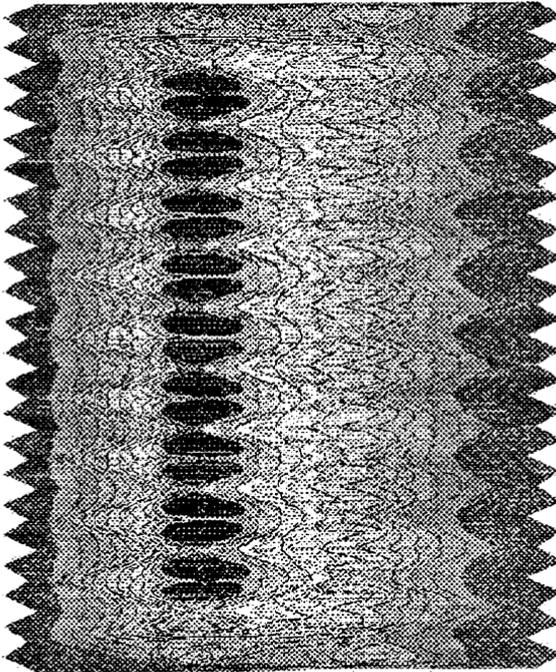


Рис.3 Поле распределения прогибов f (мм).

Моделирование оболочки выполняется с использованием проектно-вычислительного комплекса SCAD. Он реализует численный метод дискретизации сплошной среды методом конечных элементов (МКЭ). При моделировании используются четырехугольный и треугольный тип конечных элементов.

Граничные условия опирания складки – шарнирные. Закрепление производится в узлах по всему периметру, то есть учитывается присутствие фронтонов в торцах сооружения.

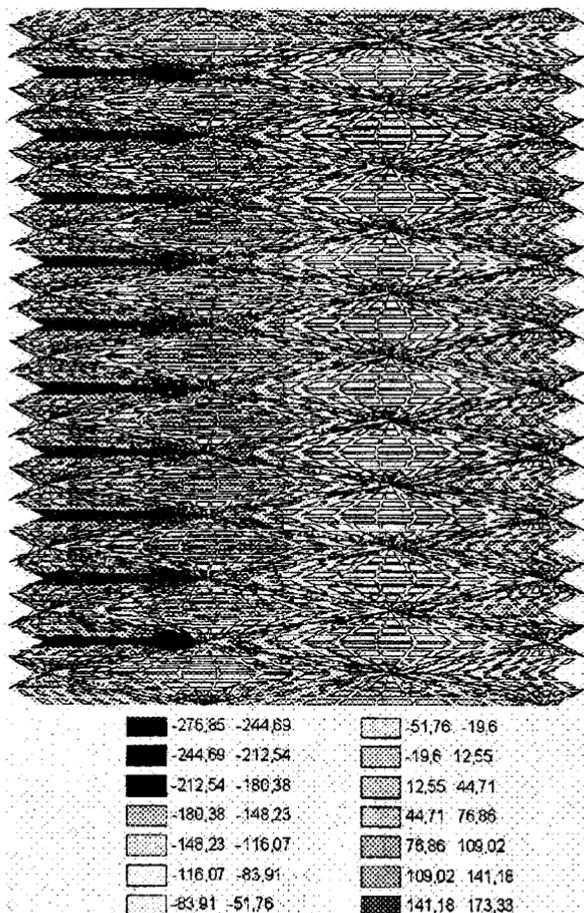


Рис.4 Поле распределения напряжений σ_x (кПа).

При расчете принято, что все элементы модели выполнены из материала, обладающего упругими ортотропными свойствами. Упругие характерис-

тики соответствуют вышеперечисленным свойствам многослойного гофрокартона.

Разработанная конечно-элементная модель характеризуется следующими основными параметрами:

Количество элементов – 2904.

Количество узлов – 2636.

Количество неизвестных системы уравнений – 15186.

В результате расчета получено напряженно-деформированное состояние складки. Основные результаты расчета конечноэлементной модели представлены в виде полей распределения прогибов (Рис.3), нормальных (Рис.4), и касательных напряжений в плоскости складки, которые соответствуют треугольной эпюре нагрузки.

Максимальная величина прогиба составила 44 мм. Относительная величина прогиба $f/l=1/210$, что меньше предельной относительной величины прогиба $[f/l]=1/120$.

Максимальные величины нормальных напряжений $\sigma_x=0,277\text{МПа} < R_{с,х}$, $\sigma_y=0,142\text{МПа} < R_{с,у}$.

Максимальная величина касательного напряжения $\tau_{xy}=0,058\text{МПа} < R_{сд,х}$.

Полученные результаты свидетельствуют о весьма сложном напряженно-деформированном состоянии конструкции. Анализ представленных в графической форме результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

- деформации складки имеют четко выраженный пространственный характер, их максимальные величины наблюдаются в средней трети пролета;
- характер распределения изополей деформаций и напряжений свидетельствует об их возрастании по направлению к ребрам складки;
- своих наибольших значений напряжения достигают вблизи боковых опор.

Испытание фрагментов складки. Испытывались фрагменты складки размером 2300?900?350 мм. По контуру фрагмент обшивался деревянным брусом, имитирующим граничные условия упругопластической заделки. В торцевой части фрагмент опирался на опоры, закрепленные в силовом полу. Вертикальное давление создавалось гидравлическим домкратом ДГ-5т, развивающим усилие до 50 кН; величина усилия фиксировалась манометром. Для замера деформаций в ребрах и плоских гранях, составляющих складку, использовались индикаторы. В опорных зонах для определения направления главных деформаций использовались проволочные тензорезисторы. Прогибы замерялись прогибомерами ПАО-6, закрепленными на опорах и в середине пролета. Нагружение проводилось ступенями 6 кН.

В процессе испытания зафиксированы максимальные относительные деформации и с использованием модулей, полученных при кратковремен-

ных испытаниях малых лабораторных образцов, определены величины нормальных и касательных напряжений в ребрах и гранях.

Заключение. Применение влагопрочного многослойного гофрокартона обработанного гидрофобными составами, обеспечивает снижение массы пространственных конструкций, экономию материальных ресурсов, сокращение трудозатрат и стоимости. Сравнение экспериментального напряженно-деформированного состояния с теоретическим, полученным на основании расчета, показывает их достаточное соответствие. Проверка по прочности и по деформациям при расчетных нагрузках выполняется.

Литература

1. V.A. Ivanov. The multiply building corrugated board for protect structures // 5 th International Conference. Modern building materials, structures and techniques (21 – 24 May 1997, Vilnius, LITHUANIA). III tomas. Vol. III. – Vilnius: «Technika», 1997. – P.134-138.

УДК 624.071.3

КОРРЕКТИРОВКА НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ВЕЛИЗИ ГРАНИЦ ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИНОК КУСОЧНО-ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ

Вербицкая О.Л.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Рассматривается задача оптимизации прямоугольной линейно деформируемой шарнирно опертой по контуру пластинки. Статический расчет пластинки выполняется методом конечных элементов (МКЭ) с применением прямоугольных конечных элементов, имеющих двенадцать степеней свободы. Примененный тип конечных элементов согласно исследованиям Адинаи, Клаусом и Мелашом [1], является неконформным, но обеспечивает хорошую сходимость решения и упрощает алгоритм расчета.

Для подтверждения конвергенции решения выполнен расчет квадратной шарнирно опертой пластинки по разработанной нами программе *Cross*. Были приняты следующие исходные данные: размеры пластинки 6х6 м; толщина 20 см; модуль упругости $E=20$ ГПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0.30$;