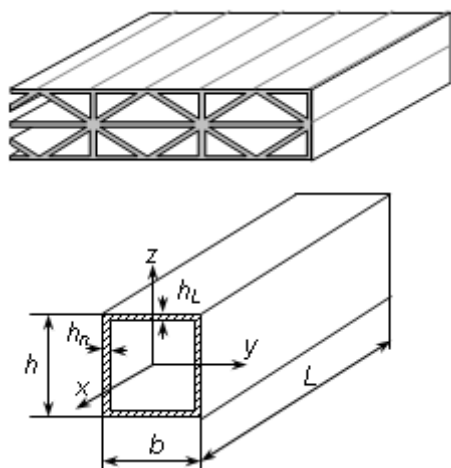


Ф. С. Хайруллин, С. Г. Сидорин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА  
СОТОВОЙ СТРУКТУРЫ*Ключевые слова: Упругость, напряженно-деформированное состояние, сотовый материал.**В работе выполнено численное определение напряженно-деформированного состояния сотовых материалов. Были рассмотрены трехслойные сотовые материалы с различными формами сечений сот. Результаты позволяют выполнять сравнение прочности и жесткости сотовых материалов.**Keywords: Elasticity, stress-strain state, honeycomb material.**Numerical determination of the stress-strain state of the honeycomb materials was made in the work. Various forms of honeycomb sections were examined. The results allow you to compare the stress and stiffness of materials with different forms of honeycomb.*

Материалы с сотовой структурой поперечного сечения широко используются в технике, архитектуре, строительстве и других областях вследствие их малого веса и высоких удельных прочностных характеристик. В частности панели из ПВХ (поливинилхлорида), листовой сотовый поликарбонат – современные экологически безопасные материалы, используемые в дизайне интерьеров, спортивных сооружениях и других объектах. Механические, оптические, теплофизические свойства сотового материала зависят от формы сот. Представляет интерес определение напряженно - деформированного состояния сотового материала с различными формами сот.

Сотовый листовой материал состоит из двух лицевых пластин, соединенных перегородками, ориентированными в продольном направлении (рис.1).

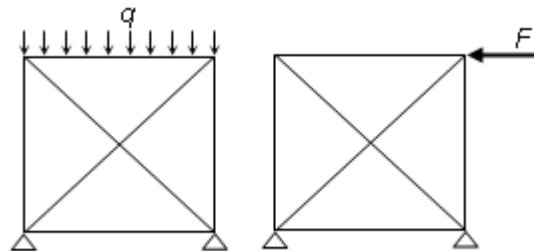


**Рис. 1 – Формы и характерные размеры сечений сотового листового материала**

При разработке расчетной модели и методов расчета сотового материала следует отметить, что толщина внешних пластин  $h_L$  намного меньше общей толщины  $h$  листа –  $h_L/h = 0,02...0,06$ , а отношение толщины перегородок и ребер жесткости  $h_n$  к общей толщине листа  $h_n/h = 0,002...0,06$

Определение характеристик напряженно-деформированного состояния сотовых листов (панелей) выполнялось численно с использованием пакета прикладных программ, разработанного на основе вариационного метода расчета составных оболочечных и стержневых конструкций, предложенных в работах [1,2].

Были рассмотрены два вида нагружения сотовых листов (рис.2): равномерно распределенная по поверхности нагрузка  $q$  действует на лист сверху; равномерно распределенная по длине листа сила  $F$  действует в верхнем углу профиля соты.



**Рис. 2 – Виды нагружения сотовых листов**

Для определения характеристик напряженно - деформированного состояния в направлении продольного размера  $L$  под действием равномерно распределенной нагрузки  $q$  панель считалась составной конструкцией, элементами которой являются тонкие пластины жестко соединенные между собой [3].

Расчетная схема была получена следующим образом. Из панели двумя плоскостями, перпендикулярными к поверхностям панели и проходящими по линиям симметрии профилей, вырезается полоса (рис.3) длиной  $L$ , включающая по ширине полосы половину соты. На боковых поверхностях полосы накладываются условия симметрии, на концах – условия симметрии и условия свободного опирания для нижней поверхности панели. Вследствие симметрии рассматривалась половина полосы.

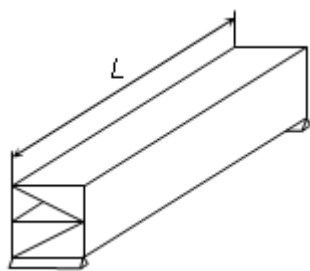


Рис. 3 – Расчетная схема элемента сотового листа

Рассмотрены четыре варианта трехслойных сотовых листов толщиной 16 мм (рис.4).

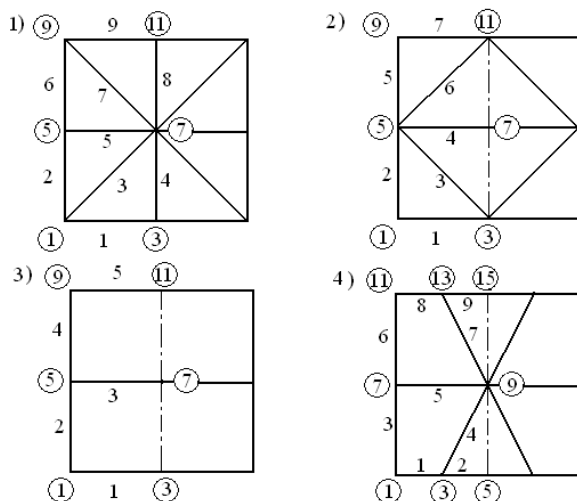


Рис. 4 – Формы сечений трехслойного сотового материала

На рисунках приведены номера пластин и номера узлов (даны в кружечках). Номера узлов даны для конца полосы, в которой находится закрепление. Для получения номеров узлов, находящихся в плоскости симметрии полосы (на расстоянии  $L/2$  от закрепления), надо к соответствующим номерам узлов, приведенным на рисунках, прибавить по единице. Каждая пластина имеет четыре узла, совпадающие с угловыми точками пластины.

При определении параметров напряженно деформированного состояния величина распределенной нагрузки была принята  $q=0,1$  МПа, продольный размер полосы  $L=0,4$  м.

В таблице 1 представлены расчетные значения максимального прогиба  $W$  и максимального эквивалентного напряжения в сотовых листах. Максимальные величины получены в верхних пластинах. В таблице указаны также номера узлов, в которых возникают эти величины. Если в таблице даны два узла, то искомые величины действуют на стороне пластины, проходящей через эти узлы.

Для определения характеристик напряженно - деформированного состояния в поперечном направлении из панели двумя поперечными плоскостями вырезается полоса длиной 0,01 м. Из нее по длине панели вырезается элемент, включающий одну ячейку. Слои и перегородки в панели моделируются стержневыми элементами, жестко соединен-

ными между собой в узловых точках. Для определения напряженно - деформированного состояния стержневой системы используется метод, предложенный в работе [2].

Таблица 1 – Расчетные величины перемещений и напряжений в листах

| При нагружении давлением $q$ |                 |            |                             |            |
|------------------------------|-----------------|------------|-----------------------------|------------|
| Сечение                      | $W_{\max}$ , мм | Номер узла | $\sigma_{\text{экв}}$ , МПа | Номер узла |
| 1                            | -12,3           | 10-12      | 48                          | 11         |
| 2                            | -14,5           | 10-12      | 52                          | 9          |
| 3                            | -16,9           | 12         | 68                          | 9          |
| 4                            | -14,4           | 16         | 56                          | 11         |

Нумерация стержней и узлов производится также как и на рисунке 4. Только здесь номерам пластин соответствуют номера стержней, нумерация узлов производится последовательно без пропусков номеров, вторая симметричная часть также нумеруется. Эти рисунки здесь не приведены.

Предполагается, что у стержневой конструкции (рис.2) нижний стержень по концам имеет шарнирное закрепление, для верхнего стержня ограничивается перемещение в горизонтальной плоскости и на него действует сверху распределенная нагрузка интенсивности  $q$ .

При исследовании деформаций и напряжений при сдвиге соты в плоскости поперечного сечения к стержневой системе прикладывается распределенная по длине сила  $F = 1$  Н/см (рис.2).

В таблице 2 приводятся значения максимальных перемещений и максимальных напряжений в стержневой системе и места их расположения.

Таблица 2 – Расчетные величины перемещений и напряжений в сотах

| При нагружении давлением $q$        |                 |            |                             |                  |
|-------------------------------------|-----------------|------------|-----------------------------|------------------|
| Сечение                             | $W_{\max}$ , мм | Номер узла | $\sigma_{\text{экв}}$ , МПа | Номер узла       |
| 1                                   | -0,0134         | 9-11       | 19.2                        | 11               |
| 2                                   | -0,160          | 9-11       | 86.8                        | 9-11             |
| 3                                   | -0,222          | 9-11       | 113.9                       | 9                |
| 4                                   | -0,0602         | 13-15      | -42.2                       | 15               |
| При нагружении сдвигающей силой $F$ |                 |            |                             |                  |
| Сечение                             | $W_{\max}$ , мм | Номер узла | $\sigma_{\text{экв}}$ , МПа | Номер стержня    |
| 1                                   | 0,0368          | 9          | -2,55                       | 7                |
| 2                                   | 0,0452          | 9          | -2,56                       | 6 <sup>сим</sup> |
| 3                                   | 1,11            | 9          | -0,4                        | 5                |
| 4                                   | 0,11            | 11         | -3,17                       | 7                |

Меткой «сим» отмечены стержни симметричные относительно вертикальной линии симметрии соответствующим стержням.

Полученные результаты могут быть использованы при сравнительной оценке прочности и жесткости материалов с различными формами сечения сот. Например, можно видеть, что сотовый материал с формой сечения №3 обладает меньшей прочно-

стью при действии распределенной нагрузки и меньшей жесткостью при сдвиговой нагрузке.

### Литература

1. Хайруллин Ф. С. Метод расчета тонких оболочек сложной формы // Известия РАН. Механика твердого тела. - 1998, № 3. - С. 30 - 33.
2. Серазутдинов М. Н., Хайруллин Ф. С. Метод расчета криволинейных стержней // Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1991. - №5. - С. 104 - 108.
3. Хайруллин Ф.С., Серазутдинов М.Н., Сидорин С.Г. Расчет напряженно-деформированного состояния сотового поликарбоната. //Вестн. Казан. технол. ун-та – 2010.- №9. – С.433-437.

---

© **Ф. С. Хайруллин** – д-р физ.-мат. наук, проф. каф. теоретической механики и сопротивления материалов КНИТУ;  
**С. Г. Сидорин** – канд. техн. наук, доц. той же кафедры, [sidorins@mail.ru](mailto:sidorins@mail.ru).