

УДК 624.073

Хайруллин Л.Р. – ассистент

E-mail: lenar76@rambler.ru

Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук, профессор

E-mail: kayumov@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СТЫКАМИ СРЕДНЕГО СЛОЯ ВБЛИЗИ ОПОРЫ

АННОТАЦИЯ

С целью усовершенствования методики расчета трехслойных панелей с технологическим стыком среднего слоя, изготовленных по непрерывной технологии, решена задача о разрушении заполнителя от действия поперечных сил в области стыка среднего слоя. Для этого обшивка в области стыка листов заполнителя представлена в виде полубесконечной балки, лежащей на упругом винклеровском основании, нагруженной внешней нагрузкой, роль которой выполняет поперечная сила. Получена формула для определения величины напряжений в заполнителе, в зоне, прилегающей к стыку.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трехслойная панель, средний слой, заполнитель, обшивки, ограждающие конструкции, технологический стык, разрушение заполнителя, полубесконечная балка, упругое винклеровское основание.

Khairullin L.R. – assistant

Kayumov R.A. – doctor of physical and mathematical sciences, professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

INVESTIGATION OF THE STRENGTH SANDWICH PANELS WITH TECHNOLOGICAL INTERFACE NEAR THE MIDDLE LAYER SUPPORT

ABSTRACT

To improve the methodology of calculation of sandwich panels, with the technological junction of the middle layer made of a continuous technology, the problem of the destruction of aggregates by the action of shear forces in the joints of the middle layer was solved. To do this, covering expansion joints filler sheet is presented in the form of a semi-infinite beam on an elastic Winkler foundation, loaded by an external load, which performs the role of shear force. A formula for determining the stresses in the filler, in the zone adjacent to the seam.

KEYWORDS: sandwich panels, the middle layer, filler, sheathing, protecting designs, technological joint, fracture filling, semi-infinite beam, an elastic Winkler foundation.

При изготовлении трехслойных панелей с металлическими обшивками и с заполнителем из отдельных листов пенополистирола по непрерывной технологии в готовых панелях возникают поперечные стыки заполнителя, расположенные по всей ширине панели. По длине панели эти стыки могут располагаться произвольно, т.е. на любом расстоянии от краев. Проведенные ранее экспериментальные исследования трехслойных панелей при поперечном изгибе (см. [1]) выявили следующие их предельные состояния:

1) местная потеря устойчивости сжатой обшивки от действия нормальных напряжений, в том случае, если стык расположен в средней части панели;

2) разрушение заполнителя от действия поперечных сил, со сдвигом заполнителя, если стык расположен в приопорной зоне.

Для первого случая предельного состояния трехслойной панели в [2] была предложена формула для определения критических сил потери устойчивости сжатой обшивки, в зоне поперечного стыка утеплителя, расположенного в средней части панели.

В данной статье рассматривается второй случай, при котором стык расположен в приопорной зоне.

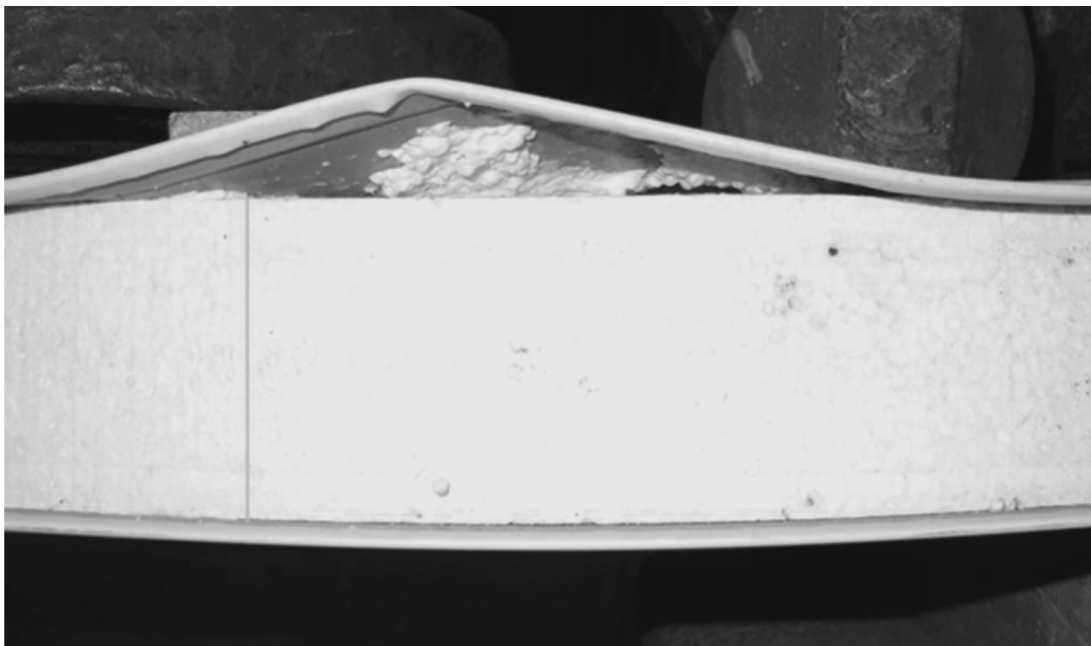


Рис. 1. Местная потеря устойчивости сжатой обшивки в области стыка, расположенного в средней части панели



Рис. 2. Разрушение заполнителя в области стыка, расположенного в приопорной зоне

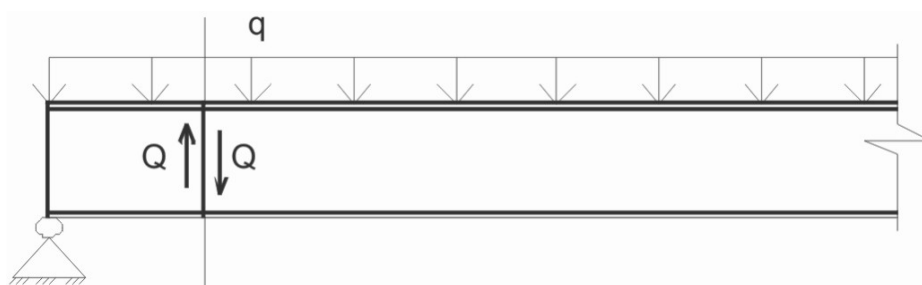


Рис. 3. Схема перехода от трехслойной панели к полубесконечной балке на упругом основании

Ввиду того, что заполнитель в области стыка разрезан на всю ширину панели, он не может воспринять поперечную силу Q , как в обычном сечении. Поэтому вся поперечная сила в сечении, где расположен стык, воспринимается обшивками. Т.к. имеется две обшивки, то на каждую обшивку приходится половина величины поперечной силы, вычисленной как для сплошной балки ($Q/2$).

Для решения поставленной задачи о разрушении заполнителя от действия поперечных сил представим обшивку в области стыка в виде полубесконечной балки, лежащей на упругом винклеровском основании, нагруженной внешней нагрузкой, роль которой выполняет поперечная сила и изгибающий момент в области стыка. Разрежем панель на две части по стыку и, отбросив одну из них, поместим начало координат на уровне разреза.

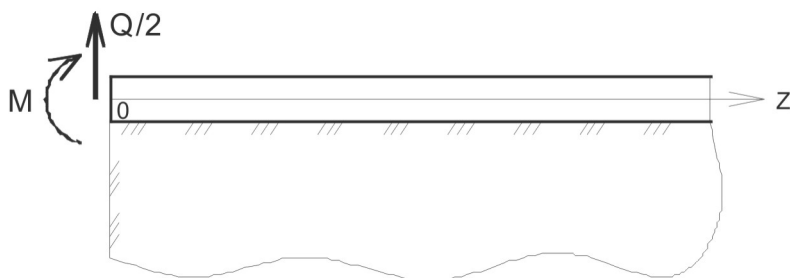


Рис. 4. Обшивка в области стыка как полубесконечная балка на упругом основании

Пусть в начальном сечении такой балки заданы момент M и поперечная сила $Q/2$. Равномерно распределенная нагрузка на всей длине балки действует только на верхнюю обшивку, поэтому для нижней обшивки ее не учитываем.

Запишем известное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки [3]:

$$EI_x v'''' = kv, \quad (1)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$EI_x v = C_1 e^{-lz} \cos lz + C_2 e^{-lz} \sin lz + C_3 e^{lz} \cos lz + C_4 e^{lz} \sin lz, \quad (2)$$

$$\text{где } l = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI_x}} \quad (3)$$

В решении (2) при $z \rightarrow \infty$ множитель $e^{lz} \rightarrow \infty$, что противоречит физическому существу задачи, т.к. эпюра прогибов должна быть затухающей. Поэтому положим константы интегрирования $C_3 = C_4 = 0$.

Т.к. рассматривается стык, располагающийся достаточно близко к опорной части, будем считать Q достаточно большим, а M достаточно малым.

Для определения C_1 и C_2 имеем граничные условия в начале координат при $z=0$:

$$\begin{aligned} EI_x v'' &= M \approx 0 \\ EI_x v''' &= Q/2 \end{aligned} \quad (4)$$

После совместного решения уравнений (2) и (3) получим:

$$C_1 = \frac{Q}{4l^3}, \quad C_2 = 0 \quad (5)$$

Таким образом:

$$EI_x v = \frac{Q}{4l^3} e^{-lz} \cos lz. \quad (6)$$

Согласно закону Винклера реакция основания будет равна $v \cdot k$, тогда напряжение в упругом основании (заполнителе) будет равно:

$$s_{осн} = v \cdot k = \frac{k}{EI_x} \left(\frac{Q}{4l^3} e^{-lz} \cos lz \right). \quad (7)$$

Модель Винклера и получаемые с ее помощью решения отличаются сравнительной простотой, но имеют существенный недостаток – необходимость дополнительного анализа конструкции для определения коэффициента упругого основания. В случае трехслойных

конструкций полное соответствие между моделью Винклера и упругим основанием среднего слоя наблюдается только при очень малой толщине этого слоя, то есть когда толщина заполнителя имеет тот же порядок, что и толщина обшивок [4]. В этом частном и довольно редком случае коэффициент упругого основания определяется как:

$$k = \frac{E_{осн}}{h_{осн}}.$$

Для случая значительно большей толщины заполнителя коэффициент упругого основания может быть найден экспериментально или при помощи точных решений теории упругости для упругого слоя. Например, коэффициент упругого основания можно определить из решения плоской задачи теории упругости для бесконечной пластины, опертой на упругую полуплоскость и нагруженной сосредоточенной силой [4]:

$$k = 0,282 \cdot E_{осн} \sqrt[3]{\frac{E_{осн}}{D_{обш}}} \quad (8)$$

$$D_{обш} = \frac{E_{обш} \cdot t^3}{12 \cdot (1 - n^2)} \quad (9)$$

Т.к. обшивка представляет из себя пластину, то задача об изгибе балки будет эквивалентна изгибу пластины, если заменить EI на D . Построим эпюру напряжений в заполнителе, примыкающем к стыку, от нагрузки 100 кг/м^2 для панели размером $1 \times 3 \text{ м}$, при максимальном значении поперечной силы, равном $\frac{ql}{2}$.

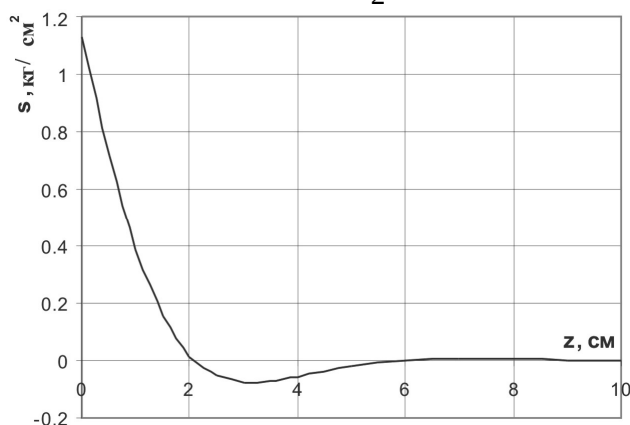


Рис. 5. Эпюра напряжений в заполнителе, примыкающем к стыку у опоры, от нагрузки 100 кг/м^2 для панели размером $1 \times 3 \text{ м}$

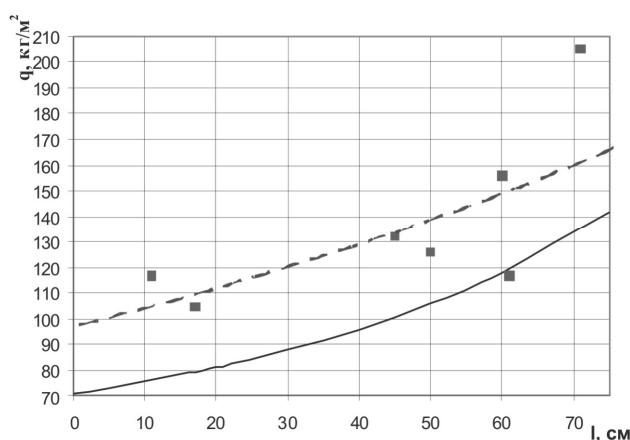


Рис. 6. Изменение величины предельной нагрузки q , панели с заполнителем из пенополистирола, размером $3 \times 1 \text{ м}$, в зависимости от расположения стыка l .
 ■ — экспериментальные значения; — рассчитанные по формуле (8).

Таким образом, максимальные напряжения в заполнителе будут возникать непосредственно у стыка. Для обеспечения прочности заполнителя должно быть выполнено условие прочности: $s_{осн}^{max} \leq s_{раст}$, или $s_{осн}^{max} \leq s_{сж}$.

$$\text{Т.е. } s_{осн}^{max} = \frac{k}{EI_x} \left(\frac{Q}{4l^3} \right) \leq s_{раст}, s_{сж}, \quad (8)$$

При изменении расположения стыка по длине панели будет также изменяться и несущая способность панели. На диаграмме рис. 6 приведена картина, которая показывает изменение несущей способности панели с заполнителем из пенополистирола размером 1х3 м в зависимости от расположения стыка и сравнение его с данными экспериментов. Указанные результаты имеют хорошую корреляцию с данными ранее выполненных экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайруллин Л.Р. Результаты исследования действительной работы трехслойных панелей. // Материалы 53 Республиканской научной конференции. Сборник научных трудов аспирантов. – Казань: КГАСА, 2001. – С. 60-63.
2. Каюмов Р.А., Хайруллин Л.Р. Критическая сила для балки на упругом основании при наличии непрочности // «Наука и практика. Диалоги нового века». Материалы конференции. Ч. 2. – Набережные Челны, 2003. – С. 281-283.
3. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1995. – С. 276-278.
4. Zenkert D. An Introduction to Sandwich Construction. – London: Chameleon Press Ltd, 1995.

REFERENCES

1. Khairullin L.R. Results of the study of the real work of sandwich panels. «Material of 53th Republican scientific conference». Collection of scientific papers of postgraduates. Kazan: KSABA, 2001. – P. 60-63.
2. Kayumov R.A., Khairullin L.R. Critical force for a beam on elastic foundation, in presence of glue defect. «Science and Practice. Dialogues of the new century». Proceedings of the conference. Part 2. Naberezhnye Chelny, 2003. – P. 281-283.
3. Aleksandrov A.V, Potapov V.D., Derzhavin B.P. Strength of Materials: For high schools. Textbook. – M.: Vysshaya. shk., 1995. – P. 276-278.
4. Zenkert D. An Introduction to Sandwich Construction. London: Chameleon Press Ltd, 1995.