

УДК 539.3

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, А. В. ЯРОВАЯ, доктор физико-математических наук  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ БАЛКИ, ЧАСТИЧНО ОПЕРТОЙ НА УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ

Рассмотрена методика проведения испытания трехслойной балки, частично опертой на упругое основание. Представлен алгоритм проведения эксперимента. Разобраны основные мероприятия, необходимые для качественного и точного испытания конструкций. Определено, что числовые значения прогибов, полученные теоретически, достаточно хорошо согласуются с данными проведенного испытания, что подтверждает точность и достоверность разработанной методики расчета трехслойной балки при ее частичном опирании на упругое основание.

**Введение.** Целью методики проведения испытания трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, является проверка теории расчета.

Для реализации указанной цели необходимо выполнить следующие основные мероприятия:

- изготовить образец трехслойной балки;
- изготовить образец упругого основания;
- провести испытание упругого основания и образца;
- обработать результаты испытания, сравнить с расчетными.

**Изготовление образца трехслойной балки и упругого основания.** Изготавливается макет трехслойной балки (фанера – полистирол – фанера (рисунок 1, а), сталь – полистирол – сталь (рисунок 1, б) и т. д.). Наглядность макета способствует быстрому восприятию, осмысливанию и прочному закреплению научного и учебного материала, проведению практических экспериментов.

а)



б)



Рисунок 1 – Макет трехслойной балки: фанера – полистирол – фанера (а); сталь – полистирол – сталь (б)

Трехслойная балка выполнена в виде трехслойного пакета, состоящего из склеенных в горизонтальной плоскости трех слоев, тонких прочных наружных листов из фанеры (стали) и внутреннего толстого более легкого заполнителя – полистирола, разносящего несущие слои на заданное расстояние и обеспечивающего их совместную работу. На торцах балки закреплены болтами П-образные торцевые усиления из стали.

Таким образом, предлагаемый макет позволяет достичь положительного эффекта, заключающегося в совершенствовании учебного процесса, научных исследований и экономии денежных средств на проведение исследований в других организациях.

Фактические размеры образца устанавливаются перед испытанием.

Аналогично изготавливаются образцы упругого основания.

Физико-механические свойства материалов берутся из данных изготовителя или определяются опытным путем.

Изготовленные макеты необходимо оформить как рационализаторские предложения и в последующем использовать в научном и учебном процессе [1, 2].

**Проведение испытания упругого основания и макетов трехслойных балок.** Испытание макетов необходимо проводить в аккредитованной лаборатории с использованием поверенных инструментов. Загружение образцов выполняется ступенчатой нагрузкой. После полного нагружения производится разгрузка в обратном порядке. Прогибы макета при испытании измеряются с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм. Для более достоверного снятия показаний прогибов под образец устанавливается не менее трех индикаторов часового типа.

Отчеты по приборам снимаются перед и после каждой ступени нагружения (разгрузки). Нагружение (разгрузка) повторяется не менее трех раз. Опытные значения прогибов заносятся в журнал испытаний.

*Экспериментальное определение перемещений (балки) на двух опорах.* Эксперимент был проведен в лаборатории при кафедре «Строительная механика» УО «БелГУТ». Испытывалась трехслойная балка прямоугольного поперечного сечения с жесткими диафрагмами на торцах, несущие слои которой выполнены из семислойной березовой фанеры с модулями упругости  $E_1 = 6000$  МПа,  $G_1 = 750$  МПа, заполнитель – из пено-

полистирола, для которого  $E_2 = 15$  МПа,  $G_2 = 5,14$  МПа. Геометрические размеры балки следующие: длина (пролет)  $l = 640$  мм, ширина  $b_0 = 60$  мм, толщины слоев:  $h_1 = h_2 = 7$  мм,  $h_3 = 50$  мм.

Была испытана трехслойная балка, установленная на шарнирные опоры. На рисунке 2 изображены прогибы трехслойной балки длиной  $l = 0,64$  м под действием распределенной по всей длине нагрузки, приложенной к балке с помощью 13 грузов по 5 кг.

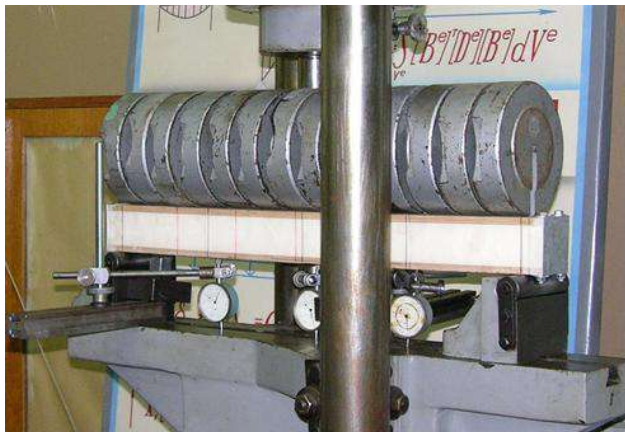


Рисунок 2 – Измерение прогибов трехслойной балки

*Экспериментальное определение жесткости упругого основания.* В качестве упругого основания была принята резина толщиной 42 мм. Для определения жесткости упругого основания была приложена сжимающая нагрузка  $F$  и определены вертикальные перемещения  $y$  (рисунок 3). Далее найдено давление  $p$ , Па, делением величины сжимающей силы на площадь подошвы пресса, а затем – коэффициент постели  $k = p/y$ . Испытания проводились ступенями. В результате получено среднее значение жесткости упругого основания (коэффициента постели)  $k = 213$  МН/м<sup>3</sup>.

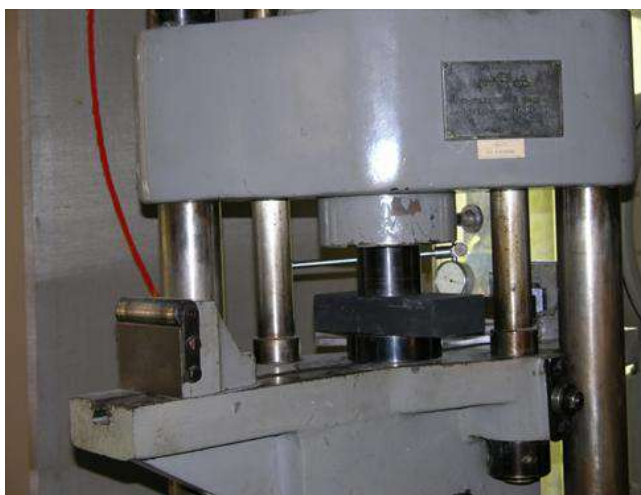


Рисунок 3 – Экспериментальное определение жесткости упругого основания

*Экспериментальное определение перемещений балки, частично опертой на упругое основание.* При проведении эксперимента интенсивность распределенной нагрузки, модули упругости материалов и толщины слоев в трехслойном пакете фанера – пенополисти-

рол – фанера принимались такими же, что и в проведенном эксперименте.

На рисунке 4 изображены прогибы трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, под действием нагрузки, равномерно распределенной по всей длине и приложенной к балке с помощью 13 грузов по 5 кг.

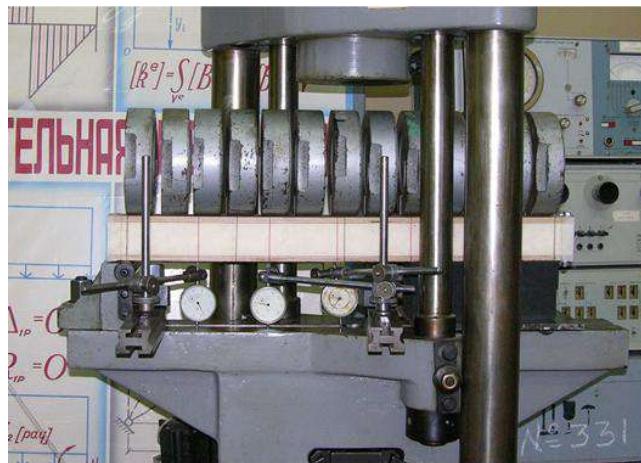


Рисунок 4 – Измерение прогибов частично опертой трехслойной балки

**Обработка результатов испытания и сравнение их с расчетными.** Разработанные собственные математические модели [3, 4] и компьютерные программы, написанные в программной среде Mathcad, позволяют определять перемещения, деформации и напряжения в трехслойных конструкциях с различными геометрическими и механическими характеристиками слоев, жестком и шарнирном закреплении или без него, наличии и отсутствии диафрагм на торцах, при различных видах нагрузок, жесткости упругого основания, размерах участков опирания, оценивать прочность и жесткость конструкций [5, 6]. Результаты, полученные по собственным методикам, обязательно необходимо сравнивать с результатами эксперимента и с методиками других авторов.

*Теоретическое и экспериментальное определение перемещений балки, установленной на шарнирные опоры.* Составляется расчетная схема балки и графики прогибов (рисунок 5).

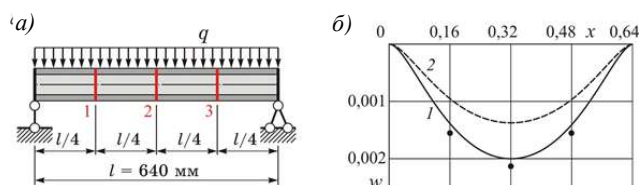


Рисунок 5 – Расчетная схема балки при равномерно распределенной нагрузке (а); графики прогибов (б)

Наибольший прогиб  $w_{\max}$  в точке 2 при нагрузке, равномерно распределенной по всей длине балки, составил: по методике, разработанной авторами, – 2,0 мм; по методике В. Н. Кобелева с соавторами [7] – 1,4 мм; по результатам эксперимента, проведенного авторами, – 2,1 мм. Прогибы  $w_{\max}$  в точках 1 и 3 составили: по методике авторов – 1,4 мм; по методике В. Н. Кобелева с соавторами – 0,95 мм, по результатам собственного

эксперимента – 1,5 мм. Числовые значения прогибов, полученных по разработанной методике, лучше согласуются с данными проведенного испытания балки, чем результаты, рассчитанные по методике В. Н. Кобелева. Погрешность в первом случае составляет не более 8 %, во втором – 45 %. Также экспериментально установлено, что при разгрузке балки сохраняются остаточные прогибы, которые исчезают через некоторое время.

*Теоретическое и экспериментальное определение перемещений балки, частично опертой на упругое основание.* Составляется расчетная схема балки и графики прогибов (рисунок 6).

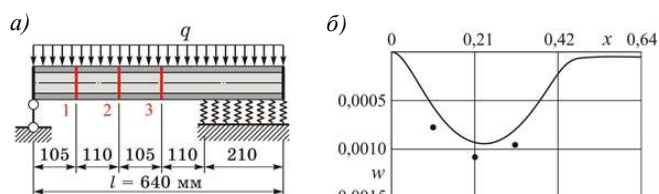


Рисунок 6 – Расчетная схема балки при равномерно распределенной нагрузке (а); графики прогибов (б)

Наибольший прогиб  $w_{\max}$  в точке 2 при нагрузке, равномерно распределенной по всей длине балки, составил: по методике, разработанной авторами, – 0,93 мм; по результатам собственного эксперимента – 1,15 мм. Прогибы  $w_{\max}$  в точке 1 составили: по методике, разработанной авторами, – 0,6 мм; по результатам собственного эксперимента – 0,74 мм. Прогибы  $w_{\max}$  в точке 3 составили: по методике авторов – 0,78 мм; по результатам собственного эксперимента – 0,96 мм. Погрешность составляет не более 19 %.

**Выводы.** Методика проведения испытания трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, позволяет успешно определять прогибы в конструкциях. Проверяют числовые значения прогибов, полученные по различным методикам, и сравнивать с опытными результатами. Проведенный на кафедре «Строительная механика» эксперимент показал, что числовые значения прогибов, полученные теоретически, достаточно хорошо согласуются с данными проведенного испытания. Это подтверждает точность и достоверность разработанной методики расчета трехслойной балки при ее ча-

стичном опирании на упругое основание. Некоторые расхождения результатов показывают на необходимость проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований, направленных на уточнение расчетных зависимостей для перемещений и напряжений в трехслойных конструкциях, так как во многих случаях они являются элементами сложных и ответственных сооружений.

*Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект T16P-010).*

#### Список литературы

- 1 Макет трехслойной балки фанера – полистирол – фанера: удостоверение № 116 на рационализаторское предложение / А. А. Поддубный, А. В. Яровая; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп.; зарегистр. 20.11.2015.
- 2 Макет трехслойной балки сталь – полистирол – сталь : удостоверение № 117 на рационализаторское предложение / А. А. Поддубный, А. В. Яровая; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп.; зарегистр. 20.11.2015.
- 3 **Поддубный, А. А.** Теоретическое и экспериментальное определение перемещений трехслойной балки при неполном контакте с упругим основанием / А. А. Поддубный, А. В. Яровая // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3(50). – С. 256–262.
- 4 **Яровая, А. В.** Деформирование упругой трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, под действием равномерно распределенной нагрузки / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Теоретическая и прикладная механика. – 2016. – № 31. – С. 242–246.
- 5 Напряженно-деформированное состояние трехслойной балки, частично опертой на упругое основание : регистр. свидетельство № 5301403768 от 03 марта 2014 г. / А. В. Яровая, А. А. Поддубный ; Гос. регистр информационных ресурсов НИРУП ИППС. – 2014.
- 6 Напряженно-деформированное состояние трехслойной пластины, частично опертой на упругое основание, при цилиндрическом изгибе : регистр. свидетельство № 5301403769 от 03 марта 2014 г. / А. В. Яровая, А. А. Поддубный; Гос. регистр информ. ресурсов НИРУП ИППС. – 2014.
- 7 **Кобелев, В. Н.** Расчет трехслойных конструкций / В. Н. Кобелев, Л. М. Коварский, С. И. Тимофеев. – М. : Машиностроение, 1984. – 303 с.

Получено 13.10.2017

**A. A. Poddubny, A. V. Yarovaya.** Methods of testing sandwich beams partially supported on elastic foundation.

The method of testing of sandwich beams partially supported on elastic foundation. The algorithm of the experiment. Disassembled the main activities necessary for quality and accurate test designs. Determined that the numerical values of the deflection obtained theoretically are in good agreement with the data of the tests, which confirms the accuracy and reliability of the developed method of calculation of sandwich beams with partial resting on elastic foundation.