

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.08.4>

Зиннуров Т.А.¹, Нурмухаметов К.А.²

¹Кандидат технических наук, ²студент,
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ДЕРЕВЯННЫХ СОСТАВНЫХ БАЛОК

Аннотация

В деревянных конструкциях существует необходимость в составных элементах, это вызвано ограничениями в размерах лесоматериала. В составных деревянных балках бревна или брусья соединяются при помощи жестких или податливых связей. По сути, податливость связей ухудшает работу составного элемента, уменьшается его несущая способность, увеличивается деформативность. На сегодняшний день существует несколько подходов для определения податливости соединений. Для простоты расчета можно использовать ряд коэффициентов, позволяющих снижать сопротивляемость изгибу составных элементов. Проведена оценка податливости соединений, основанная на теоретической базе и экспериментальной работе.

Ключевые слова: деревянные конструкции, составные балки, податливая связь, жесткая связь.

Zinnurov.T.A.¹, Nurmuhametov K.A.²

¹PhD in Engineering, ²Student,
Kazan State University of Architecture and Engineering

STUDY OF JOINT OPERATION OF CLARKE BEAMS

Abstract

There is a need for composite elements in wooden structures, this is caused by limitations in the size of the timber. Bars in clarke beams are connected by means of rigid or flexible connections. In fact, the compliance of the connections decreases the work of the composite element, reduces its bearing capacity, and increases deformability. Up to date, there are several approaches for determining the compliance of compounds. For ease of calculation, a number of coefficients can be used to reduce the flexural strength of composite elements. The evaluation of the compliance of compounds was made, based on the theoretical base and experimental work.

Keywords: wooden structures, composite beams, flexible connection, rigid connection.

Email авторов / Author email: leongar@mail.ru, msn1996@mail.ru

Большепролетные деревянные конструкции такие как: балки, рамы, арки и другие изготавливаются из лесоматериалов. Для соблюдения требований проектирования выбор составных деревянных элементов является надежным решением, потому что лесоматериалы ограничены в размерах. В составных деревянных конструкциях брусья, бревна или доски соединяются с помощью связей. Связи могут быть жесткими, обеспечивающими монолитность соединения, или податливыми, в виде гибких соединений, объединяющих деревянные элементы в единую конструкцию. Использовать в качестве гибких связей: нагелей, гвоздей, самонарезающих винтов и других видов соединения деревянных элементов намного дешевле и практичнее, чем обеспечить их полное взаимодействие. Но податливость связей за счет локальных деформаций смежных деталей различной жесткости ухудшает работу составного элемента по сравнению с аналогичным элементом цельного сечения. Главным недостатком составного элемента на податливых связях является высокая деформативность всей конструкции, поэтому в расчете и проектировании составных деревянных элементов необходимо учитывать степень податливости связей [6].

Анализ различных источников показал, что существует несколько способов учета податливости соединений, все они применяются на этапе определения геометрических характеристик сечения. Наиболее простое решение предложили Е.Е. Гибшман, С.В. Залепугин, П.П. Николаев: выполнять расчет составных балок из бревен с использованием момента инерции цельного сечения.

В.С. Деревягин рассматривал частный случай составных балок на пластинчатых нагелях, расчет которых велся с учетом ослабления сечения брусьев [8]. Полноценно и углубленно вопросами учета податливости связей в составных балках занимался в нашей стране В.Г. Писчиков. Он предложил трудоемкий, но достаточно точный расчет таких элементов [8]. За рубежом в данной области работали норвежские ученые, представители норвежской ассоциации "NTF", которые утверждают, что составные балки обладают несущей способностью на 20 – 25 % ниже, чем балки цельного сечения. [9].

В нормативной литературе, начиная с СНиП II-V.4-62, приводятся коэффициенты учитывающие сдвиги податливых соединений, которые зависят от длины пролета и количества слоев в элементе [1]. В дальнейшем коэффициенты были уточнены в СП 64.13330.2011 (таблица 1) [2]. Нормативные документы, связанные с проектированием деревянных мостов, СН 200-62, ОДМ 218.4.029-2016 и ВСН 12-73 вводят коэффициент условия работы, также именуемый как коэффициент составности [3, 4, 5]. Все рассмотренные рекомендации сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты расчета моментов инерции составных балок

Способ учета податливости.		Сечение	Формула для определения момента инерции
Составное сечение (без связей)	Вертикальное расположение брусьев		$J_{xc} = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot 2$
	Горизонтальное расположение брусьев		$J_{xc} = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot 2$
Цельное сечение (отсутствие податливости)			$J_{xc} = \left(\frac{b \cdot h^3}{12} + Z^2 \cdot b \cdot h \right) \cdot 2,$
Податливая связь; (ОДМ 218.4.029-2016, таблица 4.2.2 умножение на коэффициент составности (μ))			$J_{xc} = \frac{b \cdot H^3}{12} \cdot \mu$
Податливая связь (ВСН 12-73, страница 27; Умножение на коэффициент составности (η))			$J_{xc} = 2 \cdot b \cdot h \cdot \left(\frac{h^2}{12} + Z^2 \right) \cdot \eta$
Податливая связь (СП 64.13330.2011, таблица 12 умножение на коэффициент, учитывающий сдвиг податливых соединений $K_{ж}$)			$J_{xc} = \frac{b \cdot H^3}{12} \cdot K_{ж}$

На базе лабораторного комплекса КГАСУ проведены испытания образцов составных деревянных балок на действие сосредоточенной в середине пролета вертикальной нагрузки. Цель эксперимента: оценить, какой из способов учета податливости является наиболее оптимальным при проектировании деревянных составных балок, а также реально описывает работу составных балок под нагрузкой. В рамках эксперимента выполнены испытания составных деревянных балок пяти различных видов, состоящих из двух объединенных брусьев сечением 50 x 50 мм. В работе рассматривались виды объединений: без связей, при вертикальном и горизонтальном размещении брусьев, и со связями в виде винтов с шагом расстановки 640 мм, 320 мм и 180 мм при вертикальном размещении брусьев. Процесс испытания балок проводился согласно схеме, показанной на рисунке 1, нагрузка P прикладывалась поэтапно с шагом в 0.05 кН. Результирующим параметром являлся прогиб балки f , который снимался на каждом этапе нагружения прогибомером Аистова с ценой деления 0.01 мм (ИЧС). Экспериментальная выборка состояла из пяти образцов на каждый вид объединения брусьев, нагружение проводилось в семь этапов.

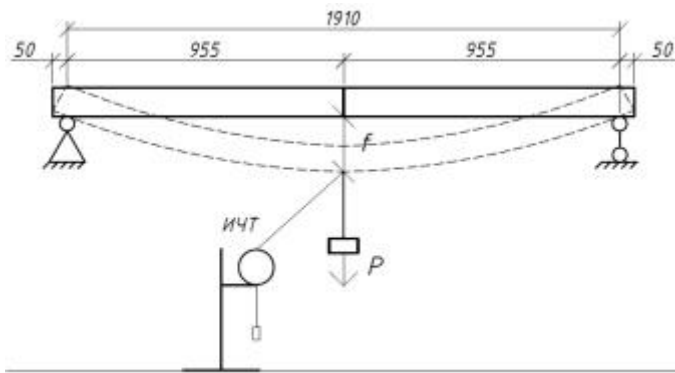


Рис. 1 – Схема нагружения деревянных балок

Результаты эксперимента представлены на графике зависимости среднеарифметических значений момента инерции сечения составной балки от нагрузки P (Рис. 2).

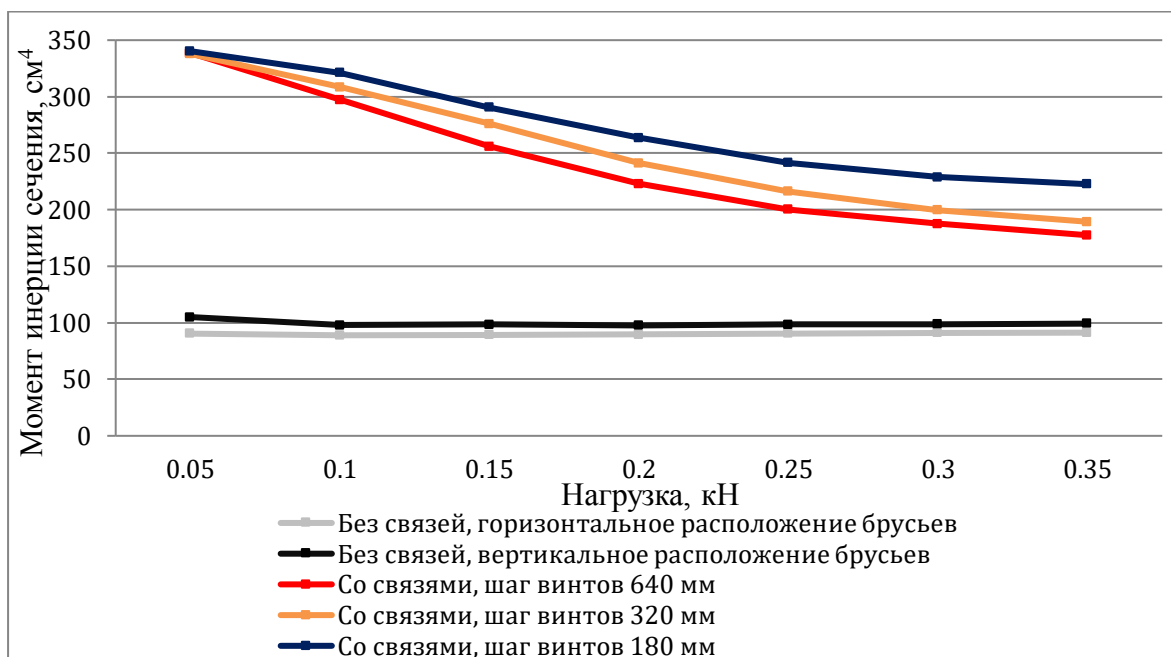


Рис. 2 – График зависимости среднеарифметических значений момента инерции сечения составной балки от нагрузки P

Анализируя данный график, отчетливо видно, что образцы, объединенные в составной элемент без связей, имеют постоянный момент инерции, а незначительные изменения по ходу нагружения могут быть связаны с начальным механическим трением между брусьями. Образцы, которые на наш взгляд имели податливые связи, с увеличением нагрузки теряли жесткость объединения деревянных брусьев, соответственно уменьшался момент инерции. При двукратном увеличении связей в виде самонарезающих винтов жесткость соединения увеличилась в среднем на 12.7%.

Экспериментальные и теоретические данные рассмотренных способов учета податливости связей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Обобщенная таблица значений момента инерции составной балки размерами 100x50 мм

№	Тип связей между балками, расположение ветвей балки относительно друг друга, источник расчетных формул.	Расчетное значение, см ⁴	Экспериментальное значение, см ⁴
1.	Без связей	93.139	99.326
	вертикальное расположение брусьев	93.139	91.287
2.	Жесткая связь, вертикальное расположение брусьев	372.555	–
3.	Податливая связь, вертикальное расположение брусьев	ОДМ 218.4.029-2016 [4]	316.627
		ВСН 12-73 [5]	316.627
		СП 64.13330.2011 [2]	167.65

Сравнительный анализ результатов, полученный расчетным и экспериментальным путем, показал определенные закономерности. Например, для составных балок без связей, значения совпадают с отклонением не более 6.3%. Результат ожидаем, погрешность можно свести к наличию взаимодействия механического характера между волокнами деревянных элементов. Также замечено, что податливость – величина переменная и зависит от многих факторов, поэтому в расчетах рекомендуется применять коэффициент, учитывающий сдвиг податливых соединений $K_{ж}$, указанный в СП 64.13330.2011 [2]. Данный коэффициент наиболее близко описывает работу составных балок на податливых связях и надежно покрывает весь интервал изменения полученных значений.

Список литературы / References

1. Строительные нормы и правила: СНиП II-V.4-62. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Гос. изд., 1962 – 34 с.
2. Свод правил: СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М.: Минрегион России, 2011 – 88 с.
3. СН 200-62. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб. – М.: Всесоюзное изд. министерства путей сообщения, 1962 – 324с.
4. ОДМ 218.4.029-2016. Методические рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Определение грузоподъемности конструкций деревянных мостов. – М.: Федеральное дорожное агентство, 2016 – 26 с.
5. ВСН 12-73. Указания по определению грузоподъемности деревянных мостов с учетом их технического состояния. – М.: Минавтодор РСФСР, 1974 – 78 с.
6. Иванов В.Ф. Деревянные конструкции. Ленинград: Госстройиздат, 1956 – 309 с.
7. Гишман Е.Е. Проектирование деревянных мостов. – М.: «Транспорт», 1976 – 272 с.
8. Деревянные конструкции: справочник проектировщика промышленных конструкций/под ред. Г.Ф. Кузнецова. – Москва – Ленинград: главная редакция строительной литературы, 1937 – 941 с.
9. Деревянные конструкции на металлических закладных пластинах/ руководитель проекта Арнольд Саген. – Норвегия: "Norges Byggscole", 1999 – 174 с.
10. Уткин В.А., Синиговская Н.В. Исследование несущей способности составных прогонов из бревен с соединениями на глухих цилиндрических нагелях, защемленных в стальных пластинах. Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". – 2016 – №(5(51)) – С. 134-144.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Stroitelniye normy i pravila: SNiP II-V.4-62. Derevyaniye konstruktсии. Normy proektirovaniya [Building Norms and Rules: SNiP II-V.4-62. Wooden Constructions. Designing Standards.] - Moscow: State publishing, 1962 - 34 p. [In Russian]
2. Svod pravil: SP 64.13330.2011. Derevyanniye konstruktсии. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-25-80. [Set of Regulations: SP 64.13330.2011. Wooden Constructions. Updated Version of SNiP II-25-80.] - M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2011 - 88 p. [In Russian]
3. SN 200-62. Tekhnologicheskiye usloviya proektirovaniya zheleznodorozhnykh, avtodorozhnykh i gorodskikh mostov i trub. [SN 200-62. Technical Conditions for Design of Railway, Roads, City Bridges and Pipes.] - M.: All-Union publishing house. Ministry of Railways, 1962 — 324 p. [In Russian]
4. ODM 218.4.029-2016. Metodologicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu gruzopodyemnosti ekspluatiruyemykh mostovykh sooruzheniy na avtomobilnykh dorogakh obshchego polzovaniya. Opredeleniye gruzopodyemnosti konstruktсий derevyanykh mostov. [ODM 218.4.029-2016. Methodical Recommendations for Determining Carrying Capacity of Operated Bridge Structures on Public Roads. Determination of Carrying Capacity of Wooden Bridge Structures.] - Moscow: Federal Road Agency, 2016 - 26 p. [In Russian]
5. VSN 12-73. Ukazaniya po opredeleniyu gruzopodyemnosti derevyannykh mostov s uchetom ikh tekhnicheskogo sostoyaniya. [VSN 12-73. Guidelines for Determining Carrying Capacity of Wooden Bridges in View of Their Technical Condition.] - M.: Minavtodor of the RSFSR, 1974 - 78 p. [In Russian]
6. Ivanov V.F. Derevyanniye konstruktсии. Leningrad [Wooden Constructions. Leningrad]: Gosstroyizdat, 1956 - 309 p. [In Russian]
7. Gibshman E.E. Proektirovaniye derevyannykh mostov [Designing of Wooden Bridges.] - Moscow: "Transport", 1976 - 272 p. [In Russian]
8. Derevyanniye konstruktсии: spravochnik proektirovshchika promyshlennykh konstruktсий [Wooden Structures: Directory of Designer of Industrial Structures] / Ed. by G.F. Kuznetsov. - Moscow - Leningrad: main edition of building literature, 1937 - 941 p. [In Russian]
9. Derevyanniye konstruktсии na metalisheskikh zakladnykh plastinakh/rukovoditel proekta — Arnold Sagen. [Wooden Structures on Metal Insert Plates/Project manager] — Arnold Sagen. - Norway: "Norges Byggscole", 1999 - 174 p. [In Russian]
10. Utkin V.A., Sinigovskaya N.V. Study of carrying capacity of compound girders made of logs with boundings on deaf cylindrical nog embeded in steel plates. Vestnik SibADI. – 2016 – (5(51)) – P.134-144. [in Russian]