

## Основные способы соединения узлов деревянных конструкций

*Е.В. Никонова*

*Национальный исследовательский московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)*

**Аннотация:** Описываются различные варианты соединений деревянных конструкций. Описаны примеры применения различных соединений, наиболее распространённых на сегодняшний день. Проведен анализ преимуществ и недостатков таких соединений, приведены технические характеристики применяемых элементов. Описаны преимущества и недостатки стыков деревянных конструкций с применением композитных материалов.

**Ключевые слова:** Деревянные конструкции, стыки деревянных конструкций, анализ, механические связи, сравнение, нагрузка, прочность, нагель, клёвое соединение, сопряжение, зубчатые пластины.

На сегодняшний день проблема обеспечения прочности, жесткости, несущей способности узлов соединения деревянных конструкций является актуальной при проектировании и изготовлении деревянных конструкций [1]. В элементах конструкций, которые испытывают нагрузку на сжатие, применяют лобовые упоры, врубки, применяются дополнительные накладки, которые стягиваются болтами, для стабилизации работы соединения. При работе конструкции на растяжение предпочтительнее использовать соединение на механических связях. При этом необходимо помнить, что древесина в отличие от других строительных материалов имеет анатомические особенности, механические свойства древесины сильно отличаются от направления волокон. Сегодня основные узлы соединения деревянных элементов конструкций делят на две группы, основываясь на способах передачи усилий:

- соединения с применением механических связей;
- соединения с применением различных видов клеев.

К соединениям на гибких связях, которые работают на изгиб и выдёргивание, относят соединения, выполненные на гвоздях, шурупах, глухарях и т.д. «рис.1», которые получили достаточно широкое

распространение из-за простой технологии как изготовления, так и монтажа конструкции.



Рис. 1. – Варианты применяемых нагелей

1 - деревянный нагель, 2 – применяемые болты, 3 – применяемые штифты,  
4 – применяемые винты, 5 – самонарезающие шурупы, 6 – шуруп

Для механических связей в нагельных соединениях характерна нелинейная зависимость нагрузки и податливости самого стыка [2].

На «рис.2а» приведен узел сопряжения с применением стальных стержней, которые применяются в узлах, работающих на сжатие, растяжение и сжато-изгибаемых узлах. На рисунке «рис.2б» приведена диаграмма растяжения зависимости нагрузки и перемещения, показывающая нелинейность зависимости параметров [3].

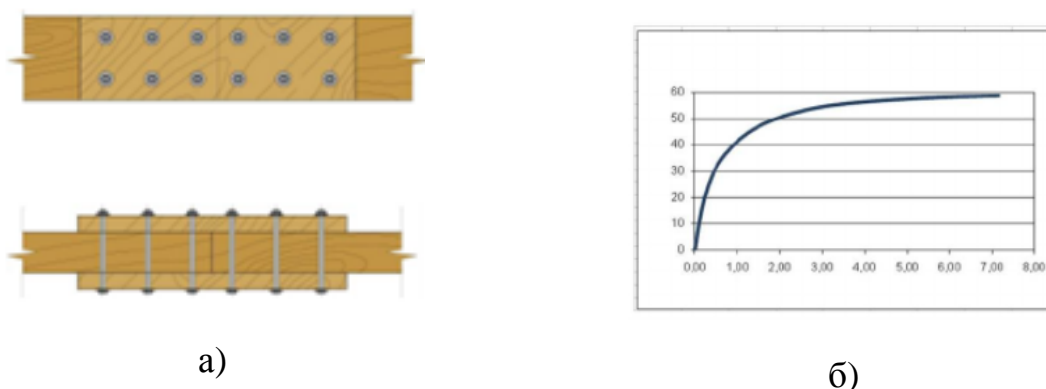


Рис. 2. – Нагельное соединение деревянных конструкций

а) узел сопряжения б) диаграмма испытания узла сопряжения на растяжение

Нагельные соединения «рис.3» как правило применяются при сборке, ремонте и усилении конструкций. Такие соединения, или, как их еще

называют, «соединения на гибких связях», представляют собой наиболее распространённый вид соединения деревянных элементов. Нагельное соединение препятствует сдвигу и по достижении критической нагрузки разрушается из-за изгиба нагелей [4].



Рис. 3. – Нагельное соединение деревянных конструкций

В ранее приведенных нагельных соединениях древесина работает на смятие (в гнездах), а применяемые в соединениях нагели работают на изгиб, несмотря на применяемый материал нагелей [5]. Расчет нагельного стыка необходимо вести согласно СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции», при этом максимальная допустимая величина деформации при полной потери несущей способности нагельного соединения принимается 2 мм.

Таблица № 1

#### Сравнительный анализ нагельного соединения

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> <li>– простота конструкции и применения;</li> <li>– металлические нагели удобны в изготовлении;</li> <li>– предупреждение коробления наружных слоёв древесины;</li> <li>– сокращение сроков производства работ за счет применения механических способов крепления;</li> <li>– металлические нагели предотвращают деформацию при эксплуатации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– локальные ослабления поперечного сечения соединяемых элементов;</li> <li>– повышенная ползучесть при возникновении нагрузок, близких к критическим;</li> <li>– относительно высокая податливость;</li> <li>– металлические нагели невозможно использовать в агрессивных средах.</li> </ul>

Со второй половины XX века начинается активное применение соединения деревянных элементов с использованием металлических зубчатых пластин (МЗП) «рис.4» [6]. В США наиболее распространенной считалась система Ганг-Нейл [7]. В Советском союзе в ЦНИИСК им. В.А.

Кучеренко были разработаны и применялись соединения типа МЗП-1,2 и МЗП-2.

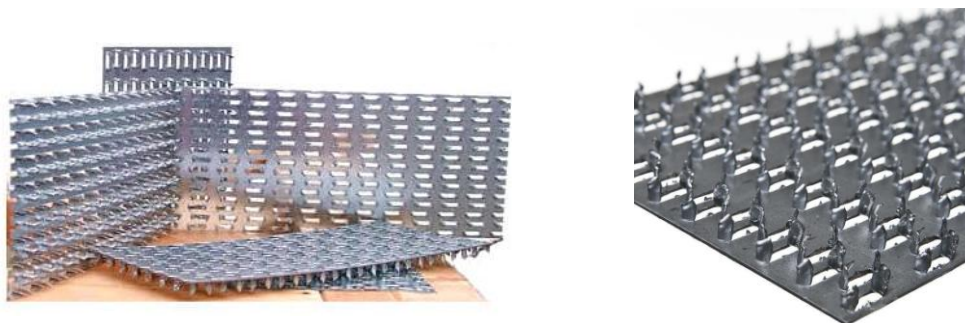


Рис. 4. – Применяемые металлические зубчатые пластины (МЗП)

Конструкция металлической зубчатой пластины (МЗП) постоянно совершенствуется, благодаря чему расширяется область применения соединения на МЗП «рис.5».



Рис. 5. – Варианты соединений с использованием металлических зубчатых пластин

Расчетная несущая способность металлических зубчатых пластин рассчитывается на  $1\text{см}^2$  поверхности пластины [8]. При этом необходимо сказать, что прочность и деформативность соединения на металлических зубчатых пластинах (МЗП) зависит от многих факторов: различное восприятие усилий зубьями, которые удалены от места стыка конструкций, вид применяемой пластины в соединении, при неравномерном расположении зубьев пластины возникает дополнительный изгибающий момент [9].

В металлической зубчатой пластине, кроме расчета несущей способности, поверхность проверяется на растяжение и срез. Расчетные

значения на растяжение и срез принимаются на 1 см сечения и 1 см длины, исходя из угла, образованного продольной осью пластины и направлением приложения усилия.

Таблица № 2

Сравнительный анализ соединения с применением металлических зубчатых пластинах (МЗП)

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"><li>– повышенная вязкость работы соединений;</li><li>– высокая заводская готовность;</li><li>– высокая технологичность производства;</li><li>– сокращение продолжительности работ;</li><li>– уменьшение количества металла;</li><li>– при установке и работе минимальные повреждения волокон древесины;</li><li>– изготовление различных вариантов зубчатых пластин.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– достаточно низкий предел огнестойкости;</li><li>– возможность раскола древесины при запрессовке конструкции;</li><li>- податливость соединения.</li></ul>

Устройство стыков деревянных конструкций с задействованием технологии клеивания, применение соединений с использованием клеестальных шайб в свое время были неэффективными, конструктивно несовершенными, трудоемкими, кроме того, применяемые на тот момент клеи не обладали высокой надежностью. Однако появление новых видов специальных клеев с уникальными свойствами (хорошая водостойкость, пожаробезопасность соединения) позволило соединять различные материалы в узлах. Применение стальных нагелей, которые клеивались в тело деревянной конструкции, позволило решать главную задачу для проектирования жесткого стыка – исключить податливость соединения [10].

Исследование стыков с применением клеиваемых стержней (арматура периодического профиля, при проведении экспериментов было установлено, что соединение с использованием арматуры периодического профиля прочнее 1,5 – 2 раза, в отличие от узла с применением гладкой арматуры) было проведено центральными научно-исследовательскими институтами «НИСИ им. В. В. Куйбышева», «СоюздорНИИ», «ЦНИИСК им. В.А.

Кучеренко», в которых были разработаны многочисленные решения различных узлов и стыков деревянных конструкций с применением клеенных стержней «рис.6». В разработанных узлах применяемые нагели работают на изгиб и выдергивание по шву.

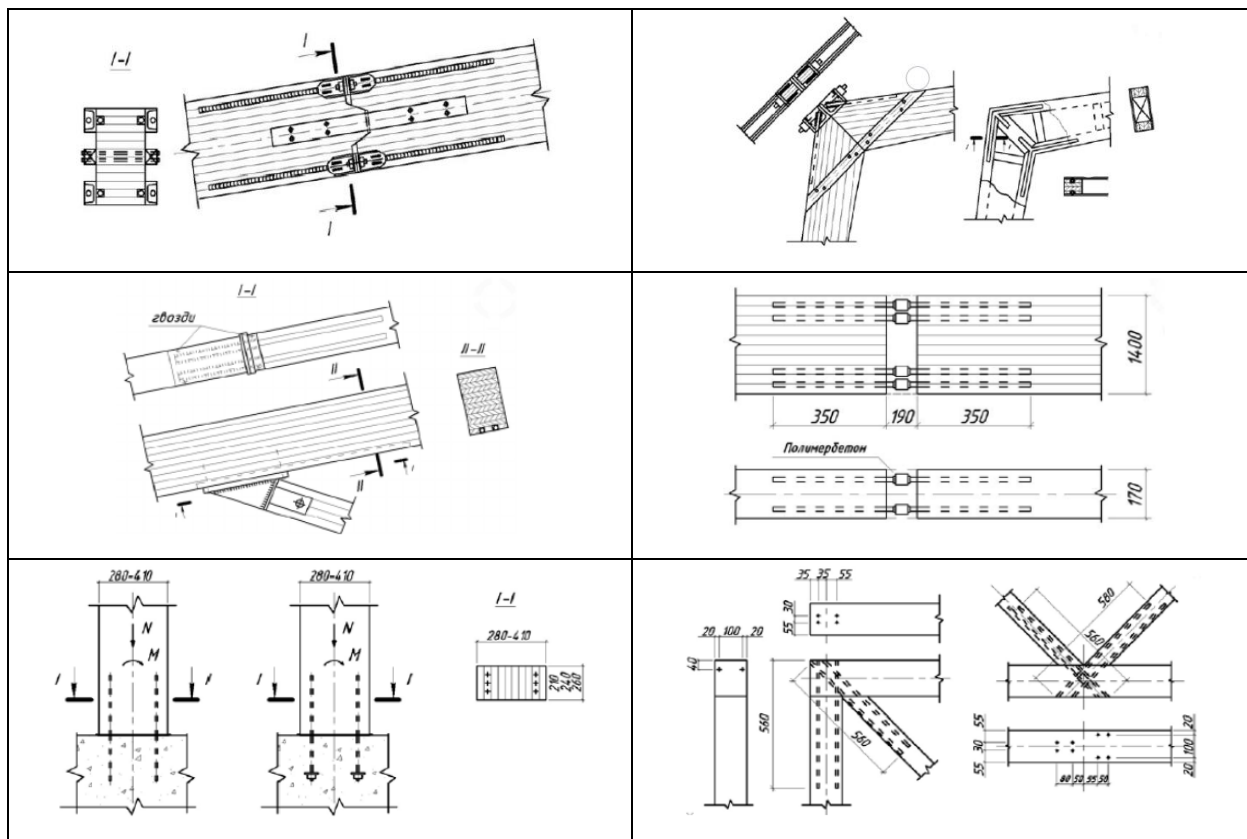


Рис. 6. – Варианты разработанных узлов и стыков деревянных конструкций

Таблица № 3

Сравнительный анализ соединения конструкций на клеенных стержнях

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокие прочностные и жесткостные характеристики;</li> <li>– повышение огнестойкости и коррозионной стойкости;</li> <li>– плотный контакт стержней и древесины;</li> <li>– создание практически жесткого узла.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– необходимость подготовки поверхности;</li> <li>– уменьшение прочности из-за старения узлов;</li> <li>– присутствует ползучесть различных вариантов клеев.</li> </ul>

Основываясь на проведенном анализе различных вариантов соединения

деревянных конструкций, можно прийти к выводу, что каждый вариант имеет преимущества и недостатки, однако наиболее эффективным на сегодняшний момент является клеевое соединение, благодаря нахождению новых видов специальных клеев.

### Литература

1. Вдовин В.М., Арискин М.В., Кравцов С.Ю. Клееметаллические соединения в несущих деревянных конструкциях // Региональная архитектура и строительство. 2007. № 1. С. 122–128.

2. Водяников М.А., Кашеварова Г.Г., Сравнительный анализ работы соединений деревянных конструкций на стальных и углепластиковых нагелях // Вестник волжского регионального отделения российской академии архитектуры и строительных наук 2017. №№ 20. с. 193-199.

3. Лабудин Б.В. Совершенствование клееных деревянных конструкций с пространственно-регулярной структурой. Архангельск : Арханг. гос. техн. ун-т, 2007. 267 с.

4. Лабудин Б.В., Гурьев А.Ю., Каратеев Л.П., Мамедов Ш.М. Металлодеревянные фермы. Архангельск, 2015. 205 с.

5. Наумов А.К. Исследование несущей способности нагеля-зуба в соединениях деревянных элементов // Вторая научная конференция молодых ученых Волго-Вятского региона. Йошкар-Ола. 1973. С. 16–17

6. Стяпин Р.А. Унификация изгибаемых клееных деревянных конструкций по принципу подобия // Инженерный вестник Дона, 2013, № 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608)

7. Blass H.J., Schädle P. Ductility aspects of reinforced and non-reinforced timber joints // Engineering Structures. 2011. Vol. 33. Pp. 3018–3026.

8. Hilson B.O. Joints with Dowel-type Fasteners — Theory. Paper C3: Timber Engineering Step 1: Basis of Design, Material Properties, Structural Components and Joints, Almere, The Netherlands, Centrum Hout. 1995. C3/1-C3/11.



9. Malinowski C. Zur Geschichte der Verbindungstechnik-Verbinder aus Stahlblech / Bauen mit Holz. 1989. Bd. 11. Pp. 776–779; Bd. 12. Pp. 872–877.

10. Фурсов В.В., М. Пурязданхах, Бидаков А.Н. Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований натурной арки из клееной древесины // Инженерный вестник Дона, 2014, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2395](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2395)

### References

1. Vdovin V.M., Ariskin M.V., Kravcov S.Ju. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2007. № 1. pp. 122–128.

2. Vodjannikov M.A., Kashevarova G.G., Vestnik volzhskogo regional'nogo otdelenija rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk 2017. №№ 20. pp. 193-199.

3. Labudin B.V. Sovershenstvovanie kleenyh derevjannyh konstrukcij s prostranstvenno-reguljarnoj strukturoj [Improvement of glued wooden structures with a spatially regular structure]. Arhangel'sk: Arhang. gos. tehn. un-t, 2007. 267 p.

4. Labudin B.V., Gur'ev A.Ju, Karateev L.P., Mamedov Sh.M. Metalloderevjannye fermy. Arhangel'sk, 2015. 205 p.

5. Naumov A.K. Vtoraja nauchnaja konferencija molodyh uchenyh Volgo-Vjatskogo regiona. Joshkar-Ola. 1973. pp. 16–17.

6. Stjapin R.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608)

7. Blass H.J., Schädle P. Engineering Structures. 2011. Vol. 33. Pp. 3018–3026.

8. Hilson B.O. Joints with Dowel-type Fasteners — Theory. Paper C3: Timber Engineering Step 1: Basis of Design, Material Properties, Structural Components and Joints, Almere, The Netherlands, Centrum Hout. 1995. C3/1-C3/11.





9. Malinowski C. Zur Geschichte der Verbindungstechnik-Verbinder aus Stahlblech. Bauen mit Holz. 1989. Bd. 11. Pp. 776–779; Bd. 12. Pp. 872–877.

10. Fursov V.V., Purjazdanhah M., Bidakov A.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2395](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2395)