

Оптимизация опорного узла дощатоклееной рамной конструкции при использовании полимерных композитных пластин

Н.В. Линьков, А.А. Клюкин, П.С. Зуйкова, С.В. Верченко, Д.Э. Михайлеу

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье рассматривается численное моделирование опорного узла распорной дощатоклееной рамной конструкции. Традиционно шарнирные узлы рамных конструкций выполнялись в виде системы сваренных между собой сварных пластин. При наличии химически-агрессивной среды применение стали затруднено. Обеспечить необходимый эксплуатационный ресурс может замена стальных элементов на полимерные композитные пластины. Пластины выполняются на полиэфирном или акриловом связующем с повышенной стойкостью к агрессивным химическим средам. Композитные пластины намного легче металла, поэтому монтаж этого профиля происходит быстрее, проще и легче, что приводит к значительным сокращением трудозатрат. Композитные стеклопластиковые профили хорошо обрабатываются – их можно пилить, сверлить, фрезеровать, легко собирать болтовыми и клеевыми соединениями.

Ключевые слова: распорная рамная конструкция, стальная пластина, полимерный композитный материал, модуль упругости, объемный вес, горизонтальная деформация, опорная реакция, изополя перемещений.

Введение

Дощатоклееные распорные конструкции представлены в том числе трехшарнирными рамами гнутоклееного [1, 2] или прямолинейного очертания. Для рамных конструкций характерно шарнирное исполнение конькового и опорного узлов. Опорные узлы традиционно решаются с применением стального башмака в состав которого входят горизонтальная опорная пластина, вертикальные упорная и боковые пластины. Рамные конструкции часто применяют в качестве несущих конструкций для сооружений складского назначения, что часто связано с необходимостью хранить и складировать зимние реагенты - химические и минеральные смеси [3-5]. Химические смеси [6] – соль, хлорид кальция, хлорид магния, будут являться химически-агрессивной средой [7, 8] для стальных элементов узлов рамной конструкции, что приведет к преждевременной утрате исходных параметров материала [9, 10] стальных элементов. Для несущих деревянных

конструкций в таком случае следует предусмотреть замену стальных элементов пластин, нагелей и болтов на композитные [11] полимерные материалы.

Цель данной работы – выполнить численные исследования влияния толщины элементов композитных полимерных пластин опорного узла дощатоклееной рамы.

Предметом исследования является горизонтальные перемещения возникающие в элементе композитной полимерной упорной пластины, которая воспринимает действие распорной опорной реакции рамы.

Описание расчетной модели опорного узла рамной конструкции

Для решения поставленной задачи в программном комплексе Лира САПР была выполнена модель опорного узла дощатоклееной рамной конструкции. Моделирование выполнялось в предположении стального и композитного полимерного исполнения элементов узла. Эскиз опорного узла представлен на рисунке 1. Общие геометрические параметры модели опорного узла представлены в таблице 1.

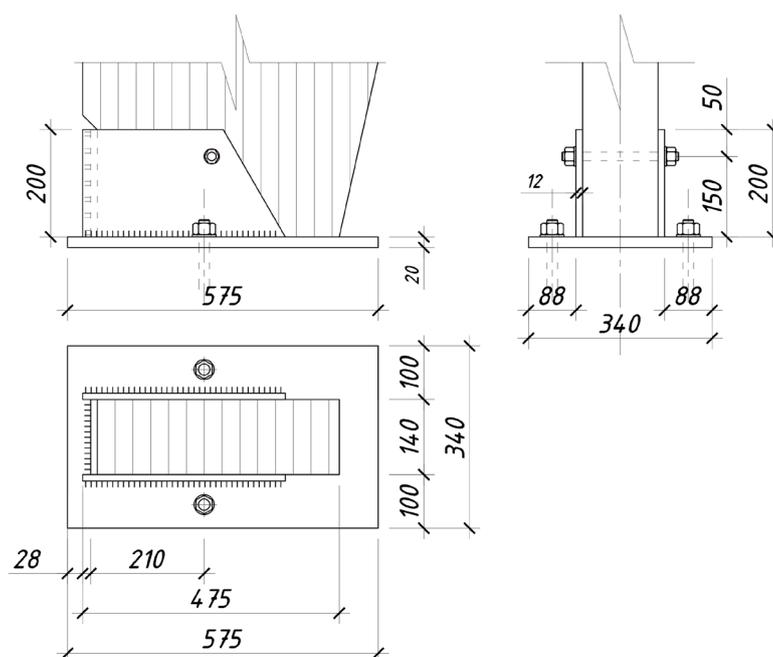


Рис. 1. Эскиз опорного узла дощатоклееной рамной конструкции

Таблица 1

Общие геометрические параметры элементов опорного узла

| Параметр конструкционного элемента | Обозначение параметра | Величина габарита | Ед. измерения |
|------------------------------------|--|-------------------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Габариты упорной пластины | $T_{у.п.} \cdot V_{у.п.} \cdot H_{у.п.}$ | 12·140·200 | мм |
| Габариты боковой пластины | $T_{б.п.} \cdot V_{б.п.} \cdot H_{б.п.}$ | 12·200·360 | мм |
| Габариты опорной пластины | $T_{о.п.} \cdot V_{о.п.} \cdot H_{о.п.}$ | 20·340·575 | мм |

Для сравнительного анализа деформативности опорного узла рамной конструкции при различных материалах исполнения были назначены параметры стального и композитного полимерного материалов. Композитный полимер рассматривается в статье как аналог стали с гораздо меньшей величиной объемного веса. Параметры жесткостей, назначенные пластинчатым элементам расчетной схемы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Жесткости элементов пластин опорного узла

| Параметр жесткости | Обозначение | Величина | Ед. измерения |
|--|-------------|----------------------|-------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Удельный вес стали | $V_{ст}$ | 7850 | кг/м ³ |
| Плотность полимерного композита | $V_{п.к.}$ | $1,93 \cdot 10^{-6}$ | кг/м ³ |
| Модуль упругости стали | $E_{ст}$ | 200000 | МПа |
| Модуль упругости полимерного композита | $E_{п.к.}$ | 22000 | МПа |

Опорный узел дощатоклеевой рамы имеет в результате статического расчета пару опорных реакций – вертикальную опорную реакцию и горизонтальную, которую принято называть распор. Величина вертикальной опорной реакции составляет 68,6кН. Величина распора составляет 58,2кН. Возникают опорные реакции в результате совместного действия на конструкцию собственного веса, веса кровли, снеговой кратковременной нагрузки. Значения заданных на модель опорного узла нагрузок представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения заданных на модель нагрузок

| Наименование | Обозначение | Значение | Ед.изм. |
|------------------------------|-------------|----------|----------|
| 1 | 2 | | |
| Давление на опорную пластину | g^A | 1032 | кН/кв.м. |
| Давление на опорную пластину | g^H | 2079 | кН/кв.м. |

Описание результатов численного расчета

Анализ результатов численного расчета произведен для исходного стального варианта исполнения опорного узла и для нескольких случаев опорного узла с использованием полимерных композитных пластин. Для композитного варианта исполнения опорного узла для пластин предусмотрены различные значения толщины пластинчатых элементов от 16мм до 30 мм.

За критерий достаточной обеспеченности толщины пластин принята горизонтальная деформация, возникающая в элементе стальной упорной пластины $D_x^{ст}=0,23$ мм. Следует отметить, что данная деформация возникает от действия распора величиной $H=58,2$ кН, при работе части боковой поверхности стоечной части рамы на смятие поперек волокон. Общий вид

результатов расчета моделей опорного узла рамы в стальном и полимерном композитном исполнении представлен на рисунке 2.

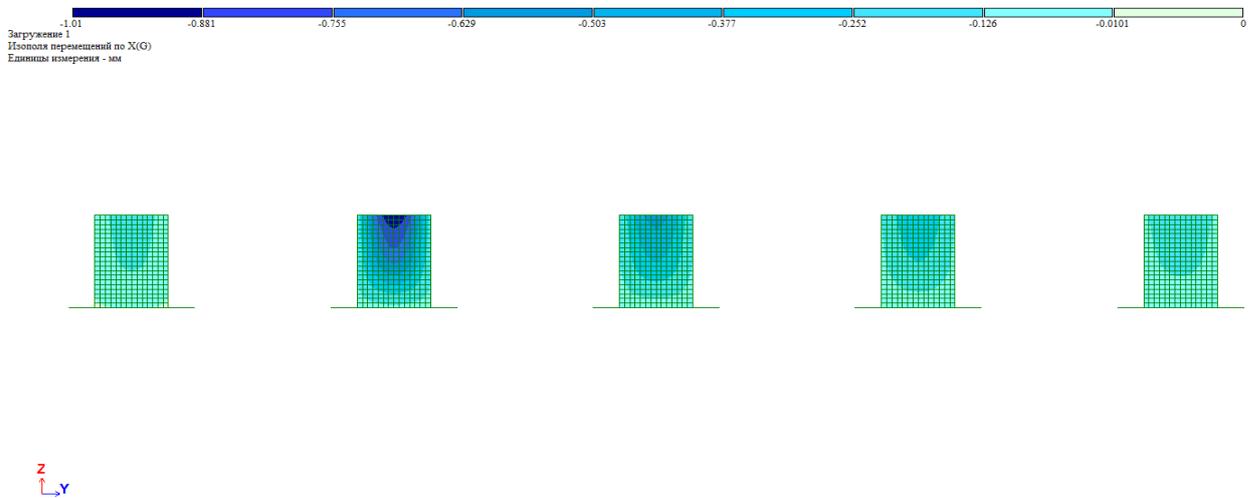


Рис. 2. Результаты численного расчета модели опорного узла.

По результатам расчета следует отметить что горизонтальные деформации узлов элемента упорной пластины узла рамы принимают значения в диапазоне от 1,01мм до 0,22мм. Следует также отметить значительную неравномерность распределения деформативности для упорной пластины, выполненной из полимерного композитного материала при малой толщине пластины. Численные сравнительные результаты расчета опорного узла представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчета деформаций опорного узла

| Толщина пластины | Материал пластины | Величина горизонтальной деформации |
|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| $T^{СТ} = 12\text{мм}$ | Сталь | $D_x^{СТ} = 0,23\text{мм}$ |
| $T^{KM} = 16\text{мм}$ | Полимерный композитный материал | $D_x^{KM} = 1,01\text{мм}$ |
| $T^{KM} = 20\text{мм}$ | | $D_x^{KM} = 0,57\text{мм}$ |
| $T^{KM} = 24\text{мм}$ | | $D_x^{KM} = 0,37\text{мм}$ |

| | | |
|------------------------|--|--------------------------|
| $T^{KM} = 30\text{мм}$ | | $D_x^{KM}=0,22\text{мм}$ |
|------------------------|--|--------------------------|

Результат расчета показал, что критерий деформативности [12] начинает выполняться при толщине полимерных композитных пластин, равной 30мм. При этом, по изополям горизонтальных деформаций следует отметить уменьшение неравномерности деформативности с увеличением толщины пластин полимерного композитного материала.

Выводы

1. В программном комплексе Лира-САПР выполнена расчетная модель опорного узла дощатоклееной рамной конструкции.
2. Моделирование элементов узла выполнено с применением стальных и полимерных композитных материалов.
3. За критерий достаточности толщины элемента упорной пластины принята величина горизонтальной деформации $D_x^{CT}=0,23\text{мм}$.
4. Необходимый результат горизонтальной деформации $D_x^{KM}=0,22\text{мм}$ достигается при толщине элементов пластин $T^{KM} = 30\text{мм}$.
5. Отмечается большая неравномерность распределения изополей деформации в полимерном композитном материале по сравнению с стальным элементом.
6. Эффект неравномерности распределения деформаций тем меньше, чем больше толщина пластин полимерного композитного материала.

Литература

1. Погорельцев А.А. Порядок назначения расчетных сопротивлений древесины в СП 64.13330.2017 "Деревянные конструкции" // Вестник НИЦ Строительство. 2019. № 2 (21). С. 114-126.
2. Погорельцев А.А., Пятикрестовский К.П. Обоснование нормируемых значений модулей упругости при расчетах деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 10. С. 33-35.

3. Леонова А.Н., Акритов Х.Э. Усиление деревянных конструкций композитными материалами. Наука. Техника. Технологии. 2020. №2. С. 329-333.

4. Shchurov E.O., Tusnin A.R. Experimental studies of steel beams reinforced with carbon plastic composites. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, vol. 869, №5. URL: researchgate.net/publication/342848636/.

5. Линьков Н.В. Усиление деревянных конструкций с применением соединений «КМ-обклейка». Промышленное и гражданское строительство. 2019. №3. С. 42-46.

6. Ling Z., Liu W., Shao J. Experimental and theoretical investigation on shear behaviour of small-scale timber beams strengthened with Fiber-Reinforced Polymer composites. Composite Structures, 2020, vol. 240. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822319333112/.

7. Романенко И.И., Романенко М.И. Эффективное использование природного потенциала деревообрабатывающими предприятиями строительной индустрии. Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4647/.

8. Салатов Е.К., Багай А.С., Белкина С.В. Усиление деревянных конструкций композитными материалами. Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института. 2021. №1. С. 21-24.

9. Клюкин А.А. Опыт исследований зарубежных инженеров по усилению деревянных конструкций композиционными материалами. Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_79__5_Kliukin.pdf_6d3900f221.pdf.

10. Lisyatnikov M. S., Glebova T. O., Ageev S. P., Ivaniuk A. M., Strength of wood reinforced with a polymer composite for crumpling across the fibers. IOP



Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 896. No. 8.
URL: libgen.ggfwzs.net/book/84486144/7c11d1.

11. Christian Z., Shebli K. Feasibility of strengthening glulam beams with prestressed basalt fibre reinforced polymers. Gothenburg. Chalmers University of Technology. 2012. 114 p. URL: hdl.handle.net/20.500.12380/162909.

12. Василькин А.А., Рахмонов Э.К. Системотехника оптимального проектирования элементов строительных конструкций. Инженерный вестник Дона. 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203

References

1. Pogorel'cev A.A. Vestnik NIC Stroitel'stvo. 2019. № 2 (21). Pp. 114-126.
2. Pogorel'cev A.A., Pyatikrestovskij K.P. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2013. № 10. pp. 33-35.
3. Leonova A.N., Akritov K.E. Nauka, tehnika, tehnologii. 2020. №2. Pp. 329- 333.
4. Shchurov E.O., Tusnin A.R. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, vol. 869, №5. URL: researchgate.net/publication/342848636/.
5. Linkov N.V. Promышlennoe i graždanskoe stroitel'stvo. 2019. №3. Pp. 42-46.
6. Ling Z., Liu W., Shao J. Composite Structures, 2020, vol. 240. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822319333112/.
7. Romanenko I.I., Romanenko M.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4647/.
8. Salatov E.K., Bagay A.S., Belkina S.V. Vestnik Moskovskogo informacionno-tehnologičeskogo universiteta Moskovskogo arhitekturostroitel'nogo instituta. 2021. №1. Pp. 21-24.



9. Klukin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_79__5_Kliukin.pdf_6d3900f221.pdf.

10. Lisyatnikov M. S., Glebova T. O., Ageev S. P., Ivaniuk A. M., IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 896. No. 8. URL: libgen.ggfwzs.net/book/84486144/7c11d1.

11. Christian Z., Shebli K. Gothenburg. Chalmers University of Technology. 2012. 114 p. URL: hdl.handle.net/20.500.12380/162909.

12. Vasil'kin A.A., Rakhmonov E.K. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203

Дата поступления: 2.01.2026

Дата публикации: 28.02.2026