

## **ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ДИСКОВЫХ РАМ NUMERICAL STUDIES OF THE WOODEN RAM DISK**

*магистр* **Щербакова А.Н.** (*инженер-конструктор ООО «ТехПроектПереворужение»*)

*к.т.н., доцент* **Грязнов М.В.** (*Владимирский Государственный Университет*)

*magister* **Sherbakova A.H.** (*engineer-constructor «TechProjectRearmament»*)

*ass. professor* **Grjaznov M.V.** (*Vladimir State University*)

### **Аннотация**

Один из основных принципов в современном строительстве — индустриализация, энергоэффективность зданий и сооружений. В связи с этим в статье рассмотрены численные исследования трех видов рам в зависимости от конфигурации дисков. Данные исследования позволили получить рациональное поперечное сечение для рам и тем самым снизить расход древесины за счет подкрепления поясов дисками.

Наиболее распространенным типом несущих конструкций являются рамы. Они хорошо вписываются в поперечное сечение большинства производственных и общественных зданий. Проектирование рамных конструкций деревянными, за счет их малой монтажной массы, характерность конструкций как быстровозводимых, и немало важно, с возможностью разборки без нарушения целостности конструкций, позволяет одновременно соответствовать всем современным направлениям строительства, не теряя при этом возможность создания объектов со свободным внутренним пространством [2,4].

Но в противовес этому - вырубка деревьев нарушает баланс в окружающей среде, а скорость возобновления сырьевой базы ниже потребности в пиломатериалах, поэтому встает вопрос о необходимости экономии древесины. Это возможно достичь проектированием рамных конструкций с заменой части древесины, например, фанерой либо ОСП, и более того разработкой их сквозного типа.

В 80-х годах прошлого века во Владимирском политехническом институте неоднократно велись исследования и разработки дисковых ферм. В 1983 году Щуко В.Ю. Ероповым Л.А. были разработаны и произведены испытания брусчатой дисковой фермы марки БДФ-12-2.25, пролетом 12м под нагрузку 2,25кН/м. В 2006 году Грязновым М.В. были теоретически исследованы и проведены натурные испытания ферм пролетом 12м и высотой в коньке 2м [7]. Исследования были выполнены при прилагаемой суммарной нагрузке 3кН/м.

На основании результатов исследований дисковых ферм, разработана рамная конструкция аналогичного конструктивного решения ригелей и стоек, которая позволяет значительно сократить расход древесины. Изначально варианты расположения дисков в раме приняты восходящими (см. рис.3) и нисходящими (см. рис.2). Исследованные в зарубежной литературе заметки о производстве дисковых рам, (в Финляндии г. Хельсинки были разработаны и произведены рамы пролетом 14 м с фанерными вставками [3]), добавили к исследованию еще один вариант - фанерные диски с параллельными друг другу кромками (см. рис.1).

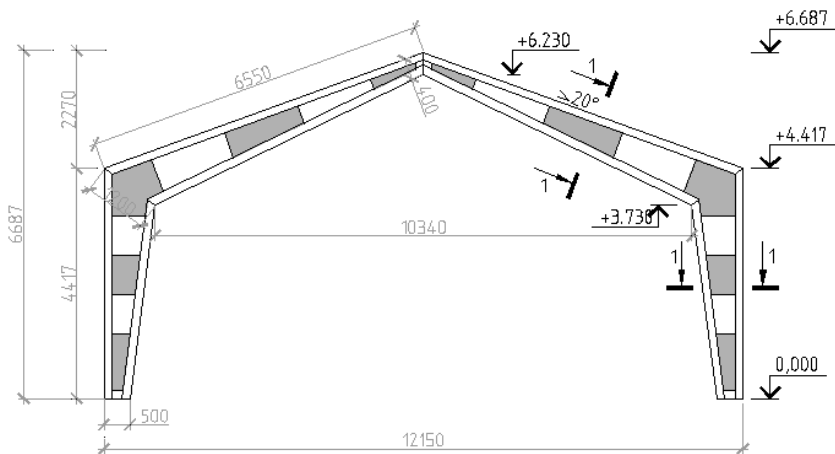


Рис. 1. Конструкция рамы с параллельным расположением дисков

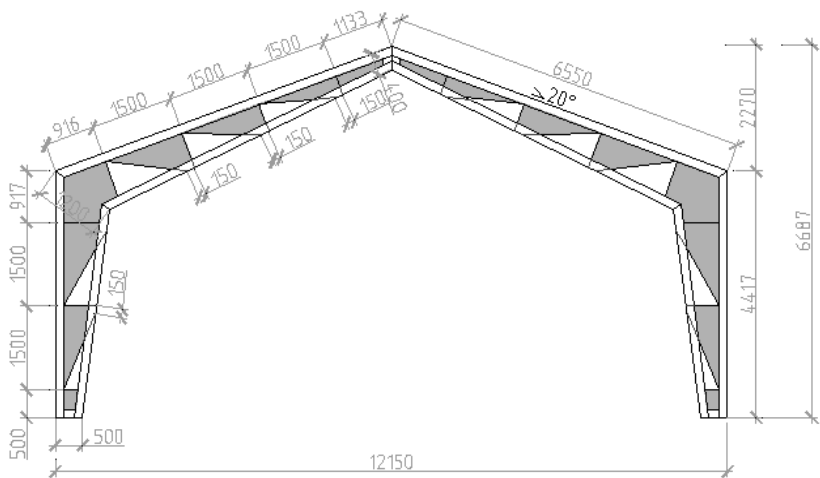


Рис. 2. Конструкция рамы с нисходящим расположением дисков

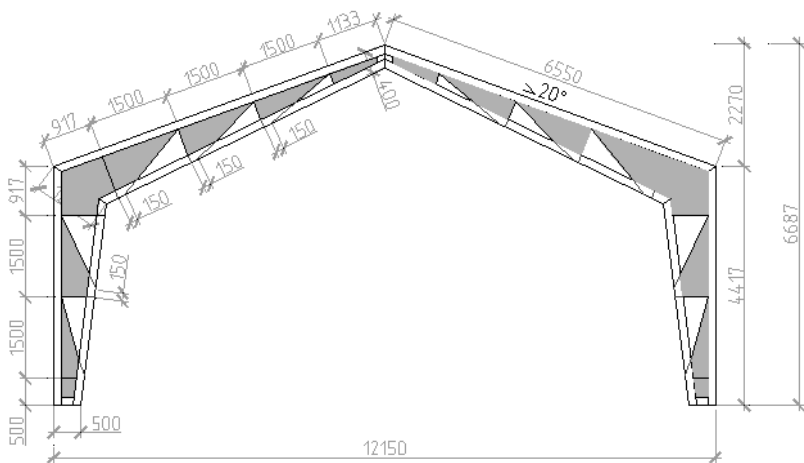


Рис. 3. Конструкция рамы с восходящим расположением дисков

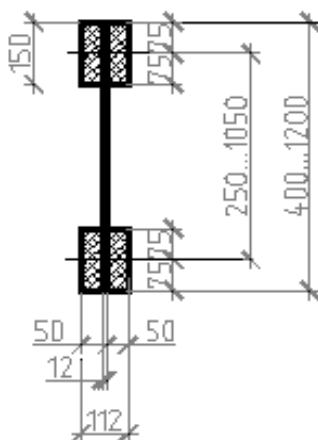


Рис. 4 Поперечное сечение рамы

Рамы для исследования приняты пролетом 12м (по центральным осям верхнего бруса в стойках рамы). Высота в коньке -6,687м. Угол ската 20°, подходящий для большинства кровельных материалов, тем самым можно считать его наиболее оптимальным.

Размер поперечного сечения верхнего и нижнего пояса приняты 100x150(h)мм, состоящие из двух досок 50x150(h)мм с расположением с двух сторон от фанерных дисков. Фанера для дисков предварительно принята толщиной 12 мм. Соединение дисков и поясов принято клеегвоздевое. В дальнейшем будет рассмотрено гвоздевое. Разрезка на диски, а соответственно высота поперечного сечения ригелей и стоек приняты таким образом, чтобы их максимальный размер не превышал 1525мм. Это принято исходя из размера наиболее распространенного на строительном рынке фанерного листа 1525x1525мм, что позволит уйти от необходимости стыковки фанерных листов. Древесина для поясов принята 2 сорта. Направление волокон наружных шпонов фанерных вставок предполагается вдоль оси верхнего бруса в ригельной части и вдоль наружного бруса в стойке рамы [1,6]. В дальнейшем влияние направления наружных шпонов фанеры на напряженно-деформированное состояние дисков также будет исследовано.

Для численных исследований объемные конечно-элементные модели построены в программном комплексе ЛИРА 9.4 и рассчитаны на различное сочетание нагрузок: собственного веса и веса покрытия,

снеговой равномерно распределенной по всему пролету и неравномерно, а также ветровой нагрузки.

В варианте с параллельным расположением поясов выявлено фрагментальное влияние дисков (в связи с их прерывистым расположением) на распределение усилий в поясах ригеля и стоек. Таким образом, по всей длине пояса неравнопрочные, что не позволяет значительно сократить расход древесины. В работе же самих дисков наблюдается сжатие по всем кромкам, и напряжения превышают допустимые в 2,5 раза. Сжатие кромки является предвестником потери местной устойчивости и для исключения этого потребуется постановка ребер жесткости. Прогибы конструкций в середине пролета при параллельно расположенных дисках превышают допустимые ( $1/250L$  для ригелей 12м) в 1,78 раз. Для их уменьшения необходимо значительно увеличить сечение поясов, но тогда они будут работать со значительным запасом, что противоречит цели рационального расхода древесины при проектировании. Второй вариант уменьшения прогибов, возможно, получить за счет разнесения поясов, что повлечет за собой увеличение длины (высоты) дисков, а соответственно и риска увеличения потери местной устойчивости.

Вторым этапом было проанализировано напряженно-деформированное состояние рамы с восходящим расположением фанерных дисков. Этот вариант был наиболее рациональным в дисковых фермах. Подобные результаты предполагалось получить на первом этапе исследования при применении данных восходящих дисков у рам. Однако расчетом было выявлено распределение напряжений совершенно противоположное ожидаемому. Наклонные кромки испытывали сжатие, по величине сопоставимом со сжимающими напряжениями в дисках, расположенных параллельно. В вертикальных кромках по высоте наблюдается одновременно как растяжение, так и сжатие. Но в сравнении с параллельными поясами возникающие напряжения сократились на 2,14 раза. Сжатие, не зависимо от расположения кромки, сигнализирует о вероятности проявления потери местной устойчивости, и для предотвращения этого потребуется также постановка ребер жесткости, ведущая за собой увеличение расхода древесины при производстве рамы. Прогибы в раме по второму варианту расположения дисков меньше чем в первом на 26%, но все также превышают предельное значение. В этом случае будет достаточно увеличить сечение поясов, с сохранением основных геометрических параметров рамы.

В целом, такое напряженно-деформированное состояние дисков было характерно в фермах с нисходящим расположением, что стало

причиной разработки рам с подобной конфигурацией фанерных вставок.

Исследование результатов напряженно - деформированного состояния рамы с нисходящими дисками, показали следующую картину распределения нормальных и касательных напряжений (см. рис. 5).

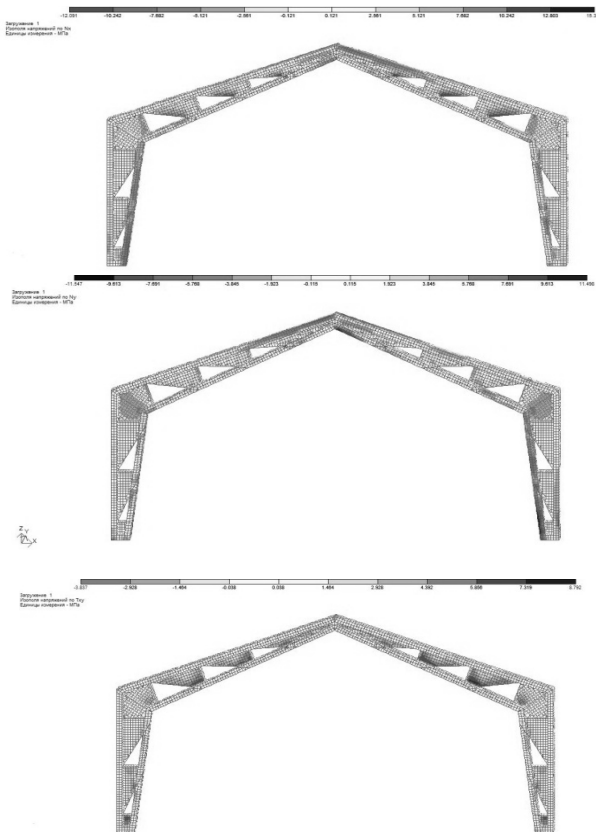


Рис. 5. Распределение напряжений  $\sigma_x$ , МПа; распределение напряжений  $\sigma_y$ , МПа; распределение напряжений  $\tau_{xy}$ , МПа

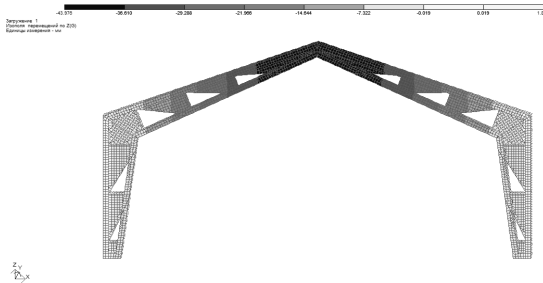


Рис. 6. Перемещения Z, мм в раме с ребрами жесткости и нисходящими дисками

Напряжения в досках поясов, как ригельной части рамы, так и в стойках превышают расчетное сопротивление древесины на растяжение, но незначительно в отличие от двух ранее рассмотренных вариантах. Только в вертикальной кромке дисков наблюдается сжатие, требующее постановки ребер жесткости. Стоит отметить, возникающие напряжения данного характера, меньше чем в случае с параллельными и восходящими дисками в 1,76-1,9 раза, а как же их меньшая суммарная длина сжатых кромок повлечет за собой незначительные увеличения затрат древесины на ребра жесткости. Прогибы ригельной части рамы при расположении в ней нисходящих фанерных дисков уменьшились еще на 23% и их значение попадает в допустимый интервал  $1/250L$ .

По анализу распределения усилий в дисках по всей конструкции в целом можно выделить следующие опасные сечения:

- максимальные положительные нормальные напряжения возникают в среднем диске ригеля, в наклонном кромке;
- максимальные отрицательные нормальные напряжения в карнизном узле в части ригеля;
- максимальные касательные напряжения возникают в «нижнем» диске ригеля.
- прогиб рамы составляет  $0,9f_{пред}$ ;
- максимальные напряжения в верхнем поясе ригеля рамы в сжатой зоне  $\sigma=0,73R_c$ ; в растянутой  $\sigma=0,65R_p$ ;
- максимальные напряжения в нижнем поясе ригеля рамы в сжатой зоне  $\sigma=0,44R_c$ ; в растянутой  $\sigma=0,99R_p$ ;
- максимальные напряжения в верхнем поясе стойки на растяжение  $\sigma=0,92R_p$ ;
- максимальные напряжения в нижнем поясе стойки рамы в растянутой  $\sigma=0,84R_p$ ;

- в растянутой зоне среднего диска действуют максимальные напряжения  $\sigma=0,93R\phi, p$ ;
- максимальные касательные напряжения имеют значения  $\tau_{xy}=0,8R\phi, c.p.$  (при наихудшем расположении волокон шпона в наружном слое фанерного листа).

Для подтверждения численных исследований в дальнейшем будут выполнены натурные испытания конструкций на действие кратковременных и длительных нагрузок. Выполненный анализ напряжено-деформированного состояния каждого из рассмотренного типа рам и сравнение результатов между собой уже дает полное основание говорить о применении нисходящего расположения дисков в раме как о наиболее рациональном для данных конструкций, что позволяет также сократить расход древесины в пределах 23...34%.

#### Литература

1. СП 64.13330.2011 Актуализированная редакция «СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции»». – М.: ОАО «ЦПП», 2011.
2. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. Для вузов/ Ю.В.Слицкоухов, В.Д. Буданов и др.; Под ред. Г.Г. Карлсена и Ю. В. Слицкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп.-М.: Стройиздат, 1986. – 543с., ил.
3. Клееные деревянные конструкции в зарубежном строительстве (обзор): Берковская Д.А., Касабьян Л.В.- М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1975.
4. Несущие дощатые конструкции в сельскохозяйственном строительстве: Д.К. Арленинов, Шуко В.Ю. Обзор. М., ВНИИС, 1983.
5. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций: Коченов В.М. - М.: Стройиздат, 1953.
6. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1986.
7. Прочность и деформативность легких деревянных дисковых ферм: Диссертация/ Грязнов М.В. - Владимирский Государственный университет, 2006.
8. Строительные конструкции из дерева и синтетических материалов. Проектирование и расчет: Учеб.пособие. / Гринь И.М - 2-е изд., перераб. - Киев, Донецк: Вища школа, 1979.