

Складские здания с деревянным каркасом

Г.Б. Вержбовский

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Складские здания с деревянным каркасом находят широкое применение в сельском хозяйстве. При этом в Российской Федерации достаточно часто используют зарубежные решения, например, ангары типа «Hansen Pole Buildings» (США). Деревянный каркас таких зданий состоит из дощатых стоек, устанавливаемых, как правило, с шагом 2,4 метра и стропильных ферм с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах. Шаг ферм составляет 1,2 метра. Несущие конструкции покрытия опираются на продольные ригели, располагающиеся в верхней части стоек.

С целью адаптации конструкции здания под отечественные нормы был разработан калькулятор ангаров, реализованный в программе Microsoft Excel. Калькулятор обеспечивает возможность расчета не только стоек и ригелей, но также связей, стеновых и кровельных прогонов. С помощью калькулятора рассчитаны конструкции нескольких складских зданий, реализованных строительством.

Ключевые слова: древесина, каркасное строительство складское здание, ангар, калькулятор, металлические зубчатые пластины.

Современное строительство характеризуется разнообразием технологий и материалов. Достаточно часто в России находят применение зарубежные строительные системы. Для их адаптации необходимо подтверждать работоспособность конструкций расчетами по отечественным нормам и заменять отдельные узлы и детали отечественными аналогами. В настоящей статье приводится описание адаптации складских зданий с деревянным каркасом, разработанных компанией «Hansen Pole Buildings» (США). Приводятся примеры завершенных строительством зданий.

Деревянный каркас складского здания от компании «Hansen Pole Buildings» [1, 2] представляет собой систему однопролетных поперечных рам, устанавливаемых с шагом 2,4м. Рамы состоят из дощатых колонн и пятиугольных стропильных ферм с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах (МЗП). По верху колонн в продольном направлении размещаются ригели из спаренных досок, на которые опираются промежуточные стропильные фермы на МЗП. Таким образом, шаг

несущих конструкций покрытия составляет 1,2 метра. Геометрическая неизменяемость здания в продольном направлении обеспечивается системой связей в покрытии и обшивкой стен из ориентированно - стружечной плиты (ОСП), прикрепляемой к продольным ригелям из брусков. По верхним поясам ферм укладываются деревянные прогоны и сплошной настил из ОСП.

Особенностью американских конструкций является тот факт, что продольные стены, иногда имеющие достаточно большую высоту и протяженность, по своей конструкции ничем не отличаются от стен обычных легкокаркасных жилых зданий. Они имеют нижнюю обвязку, вертикальные стойки и верхний продольный ригель. В отдельных реализованных зданиях можно увидеть и вертикальные связи по стойкам стен, однако таких примеров не много.

Одно из малых предприятий Российской Федерации предлагает свои услуги по строительству подобных зданий, которые оно условно называет ангарами, на территории России. В состав предприятия входит отдел, занимающийся расчетами конструкций и выпуском проектной документации. Его работники столкнулись с проблемами, связанными с особенностями Российских строительных норм и правил, и попытались создать алгоритм расчета подобных конструкций. Далее дается описание перехода от американской системы к отечественной и приводятся примеры реализации таких зданий.

Как известно, в главе строительных норм и правил, посвященной вопросам проектирования деревянных конструкций СНиП II-25-80*, говорится о том, что все соединения элементов последних следует считать шарнирными. Разработчики современного свода правил СП 16.13330.2017 исключили этот пункт из текста норм, однако возможность создания жестких нагельных узлов в дощатых конструкциях представляется сомнительной. Поэтому, при выборе расчетной схемы поперечной рамы складского здания

особое внимание было уделено нижним опорным узлам колонн. В разработанной конструкции предлагалось использовать стальную обойму, которая обеспечивала защемление колонны в фундаменте (см. рисунок 1).



Рис. 1. – Общий вид каркаса (здесь и далее фото автора)

С учетом конструкции опорного узла поперечная рама в расчетах рассматривалась с защемленными внизу стойками и шарнирно опертым на них решетчатым ригелем. В качестве нагрузок на раму принимался собственный вес конструкций, постоянная нагрузка от ограждающих частей и климатические воздействия от ветра и снега согласно СП 20.13330.2016. Возведение зданий в сейсмических районах не предусматривалось. Статический расчет рам производился в предположении, что ригель имеет значительно большую жесткость, чем стойки, в связи с чем использовались стандартные формулы строительной механики [3].

Такой подход позволил обойтись без использования сложных вычислительных комплексов и сформировать калькулятор для расчета конструкций каркаса здания. Сравнение результатов статического расчета отдельной рамы по известным формулам и пространственной модели ангара в программном комплексе «Лира-САПР» [4] показало, что «ручные» вычисления дают несколько большие значения внутренних силовых

факторов, чем машинный расчет. Таким образом, калькулятор обеспечивает некоторый запас прочности [5].

Калькулятор представляет собой рабочую книгу Excel, в которой на отдельных листах осуществляется проверка введенных расчетчиком сечений пиломатериалов, предполагаемых для использования в конструкции каркаса здания. При этом первый лист содержит краткую инструкцию по работе с калькулятором, а остальные предназначены для ввода исходных данных, выполнения вспомогательных вычислений и расчета различных частей конструкции (см. рисунки 2, 3 и 4).

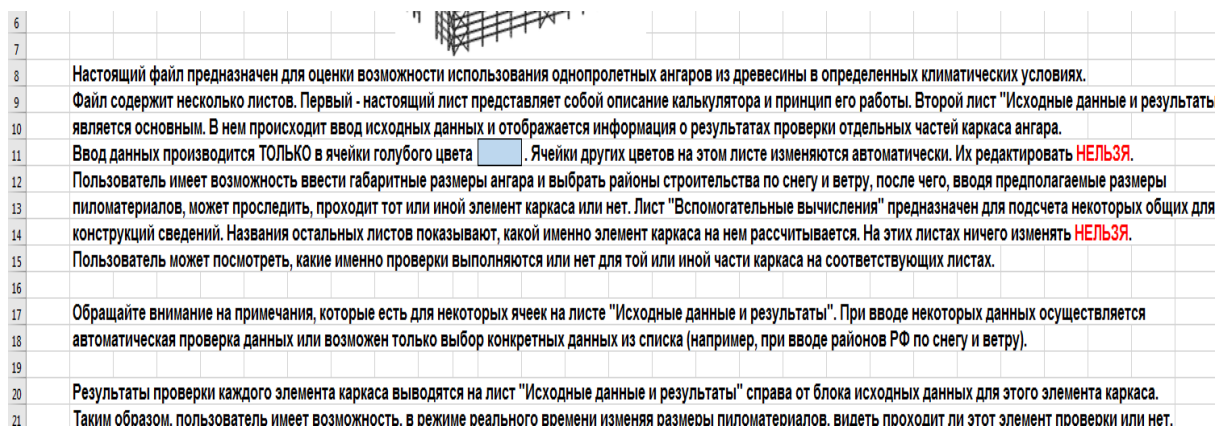


Рис. 2. – Первый лист калькулятора

Перед началом работы необходимо отдельно рассчитать ферму на МЗП. Этот расчет производится в сертифицированной программе разработки компании MiTek, а его результаты вводятся в соответствующие ячейки листа рабочей книги калькулятора.

Одним из существенных отличий отечественных норм по проектированию деревянных конструкций от зарубежных является расчет нагельных соединений. В различных странах используются разные формулы для определения несущей способности нагелей, за счет чего разница в величине нагрузки, которую может выдержать изгибаемый гвоздь или болт, может достигать двух и более раз [6-8]. В Российской Федерации

используются зависимости, полученные в первой половине прошлого века и не учитывающие прочностные характеристики современных материалов. В связи с этим необходимое количество нагелей в месте прикрепления продольного ригеля к стойке рамы оказывается значительным и требует устройства дополнительных прибоин (см. рисунок 4).

5	Пролет ангара, м	18	Растяжению, МПа	6	Кровельный прогон	Не проходит	при установке "плашмя"
6	Шаг колонн, м	2.4	Скалыванию, МПа	1.6	Верт.связь колонн	Проходит	
7	Шаг ферм, м	1.2	Смятию на опоре поперек волокон, МПа	3	Гор.связь покрытия	Проходит	
8	Высота фермы на опоре, м	1.15	Модуль упругости, МПа	10000	Верт.связь покрытия	Проходит	
9	Уклон верхнего пояса, градусы	9	Нагрузки от кровли и ферм		Распорки в покрытии	Проходит	
10	Высота потолка, м	4.95			Расчетная нагрузка от кровли, кПа	0.25	Стеновой прогон
11	Высота фундамента над отм. 0.000, м	0.1	Расчетная нагрузка от потолка, кПа	0.4	Верт. связь торца	Проходит	
12	Шаг стеновых прогонов, м	0.82	Вес стропильной фермы, кг	645	Верт. связь диафрагм	Проходит	
13	Снеговой район строительства	IV	Вес прогонов и связей, кПа	0.1	Максимально допустимая длина отсека ангара, м	32.6	
14	Ветровой район строительства	I					
15							
16							
17	Используемые пиломатериалы		РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА				
18	Элемент каркаса	b, мм	h, мм	подробности смотреть на соответствующих листах			
19				Проходит			
20	Колонна						
21	Доска основных слоев	50	200				
22	Количество основных слоев	3					

Рис. 3. – Лист ввода исходных данных и просмотра результатов

1	Прикрепление продольного ригеля к колоннам			Проверки прикрепления ригеля			
2	Диаметр самореза или гвоздя, мм	6		Минимальная длина защелкивания конца самореза	0.331	выполняется	
3	Длина самореза или гвоздя, мм	120		Требуемое количество саморезов, шт.	54		
4	Расчетные длины самореза			Ширина колонны в уровне продольного ригеля, мм	250		
5	Толщина доски продольного ригеля, см	5		Количество досок колонны в уровне ригеля, шт.	5		
6	Расчетная длина защелкивания конца самореза, см	6.1		Количество саморезов в досках ригеля, шт.	18		
7	Минимальная длина защелкивания конца самореза, см	2.0		Необходима ли накладка под ригелем?	требуется		
8	Дополнительные параметры для саморезов с диаметром 6 и более мм			Требуемое количество саморезов в накладке, шт.	36		
9	Минимальная длина защелкивания конца самореза, см	2.9		Требуемая длина накладки при ширине 150мм, мм	975		
10	Несущая способность самореза из условия его изгиба			Требуемая длина накладки при ширине 200мм, мм	750		
11	Для саморезов с диаметром менее 6 мм						
12	Несущая способность по СП 64.13330.2017, кН	1.075					
13	Для саморезов с диаметром более 6 мм						
14	Несущая способность по СП 64.13330.2017, кН	0.649					
15	Несущая способность самореза из условия смятия древесины						
16	Смятие в более толстых элементах (d<6мм)						
17	Несущая способность по СП 64.13330.2017, кН	1.664					
18	Смятие в более тонких элементах (d=6мм)						
19	Несущая способность по СП 64.13330.2017, кН	1.498					
20	Смятие в более толстых элементах (d>=6мм)						
21	Несущая способность по СП 64.13330.2017, кН	1.048					
22	Смятие в более тонких элементах (d>=6мм)						
23	Несущая способность по СП 64.13330.2017, кН	1.048					
24	Минимальная несущая способность нагеля, кН						
25							
26	Расчетные усилия в узле						
27	Поперечная сила на опоре ригеля как двухпролетной балки, кН			57.74			
28	Поперечная сила на опоре ригеля как однопролетной балки, кН			21.00			
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							

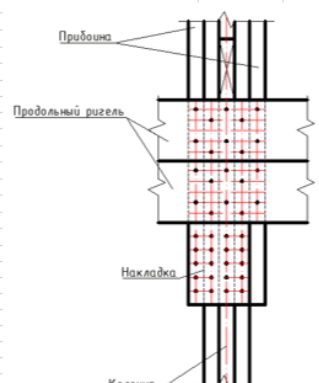


Рис. 4. – Расчет прикрепления продольного ригеля к стойке

В протяженных каркасных зданиях из древесины без поперечных стен большую роль начинают играть связи в покрытии [9, 10], поэтому для ангаров было предложено решение, показанное на рисунке 5, где представлена система продольных горизонтальных связей по нижним поясам ферм. Наличие двух рядов распорок и набора диагональных элементов образуют ветровую ферму, задача которой – уменьшить горизонтальные перемещения конструкций каркаса от ветровой нагрузки на продольные стены. Несмотря на наличие связей в покрытии в калькуляторе дополнительно определяется необходимость в устройстве промежуточных диафрагм жесткости и их шаге. На рисунке 3 в качестве примера показан результат такого расчета, где указано, что максимально допустимая длина отсека ангара между диафрагмами составляет 32,6 метра. Диафрагмами могут быть как поперечные стены на всю ширину здания, так и простенки, примыкающие к продольным стенам. Другие особенности предлагаемой конструкции – это вертикальные крестовые связи по колоннам, специальные узлы крепления промежуточных стропильных ферм, система связей по торцевым стенам и т.п.

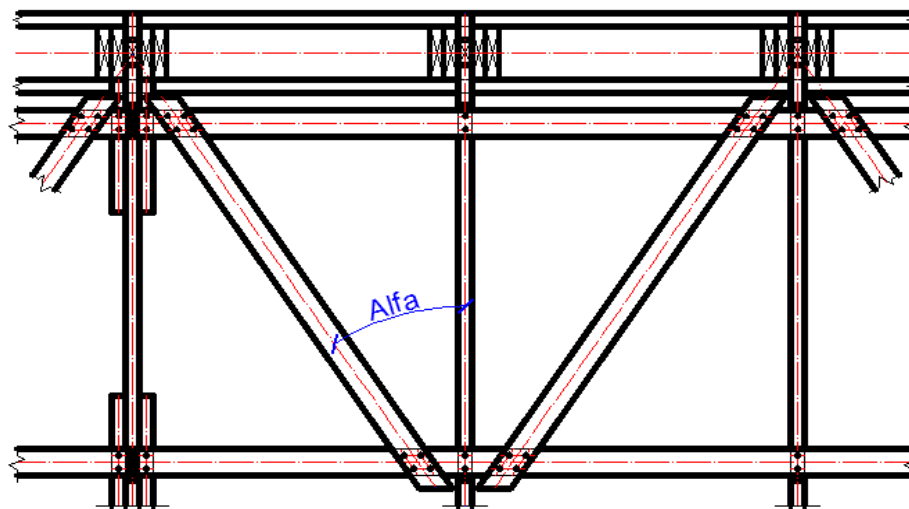


Рис. 5. – Продольная ветровая ферма

После выполнения конструктивных расчетов в калькуляторе можно получить расход древесины на здание и автоматически сформировать пояснительную записку. При помощи калькулятора произведен расчет нескольких каркасов ангаров, часть из которых уже построена, а часть находится в стадии строительства (см. рисунок 6).



Рис. 6. – Ангар в процессе строительства

Зарубежные технологии строительства зданий перед началом применения на территории России должны предварительно проходить адаптацию требованиям отечественных нормативных документов и учитывать свойства применяемых у нас в стране материалов. Прямое копирование может привести к возникновению аварийных ситуаций. В то же



время нельзя не упомянуть тот факт, что ряд российских норм и правил требуют серьезной переработки и уточнения с учетом современных достижений строительной отрасли согласно Постановлению Правительства РФ от 28.05.2021 № 815.

Литература

1. Hansen Buildings Construction Guide. – April 2017 Edition. – 499 p.
2. Post-Frame Building Design Manual. – National Frame Building Association. – January 2015 Edition. – 42 p.
3. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Под ред. Уманского А.А. – М.: Стройиздат, 1972, т. 1. – 599 с.
4. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Под ред. Городецкого А.С. – Электронное издание, 2018. URL: rflira.ru/files/lira-sapr/Book_LIRA_SAPR_2018.pdf (дата обращения 25.07.2021).
5. Букалова А.Ю., Авдеева К.В. Разработка сценариев по внедрению информационных технологий в деятельность компаний строительной отрасли // Инженерный вестник Дона, 2020, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6739.
6. Вержбовский Г.Б., Щуцкий С.В. Сравнение отечественных и зарубежных рекомендаций по проектированию работающих на сдвиг гвоздевых соединений // Легкие строительные конструкции. – Ростов н/Д: Изд-во РГСУ, 2003. – с. 37-43.
7. Вержбовский Г.Б., Еременко Н.Н., Щуцкий В.Л. О работе на сдвиг гвоздевых соединений панелей универсального набора // Легкие строительные конструкции. – Ростов н/Д: Изд-во РГСУ, 2004. – с. 76-85.
8. Дежин М.А. Несущая способность и деформативность соединений деревянных элементов на металлических накладках с использованием



ввинченных шурупов // Инженерный вестник Дона, 2021, №6 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7025.

9. Зубарев Г.Н., Бойтемиров Ф.А., Головина В.М. и др. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Академия, 2004. – 304 с.

10. Арленинов Д.К., Буслаев Ю.Н., Игнатьев В.П. и др. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 276 с.

References

1. Hansen Buildings Construction Guide. April 2017 Edition. 499 p.

2. Post-Frame Building Design Manual. National Frame Building Association. January 2015 Edition. 42 p.

3. Spravochnik proektirovshchika promyshlennyh, gilyx i obshchestvennyh zdaniy i sooruzheniy. Pod red. Umanskogo A.A. [Handbook of the designer of industrial, residential and public buildings and structures. Ed. Umansky A.A.]. M.: Stroyizdat, 1972, v. 1, 599 p.

4. Programmnyi kompleks LIRA-SAPR. Rukovodstvo polzovatelya. Pod red. Gorodetskogo A.S. [LIRA-SAPR software package. User's manual. Ed. Gorodetsky A.S.]. Elektronnoe izdanie, 2018. URL: rflira.ru/files/lira-sapr/Book_LIRA_SAPR_2018.pdf

5. Bukalova A.Yu., Avdeeva K.V. Inzhenernyy vestnik Dona, 2020, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6739.

6. Verzhbovskiy G.B., Shchutskiy S.V. Sravnenie otechestvennyh i zarubegnyh rekomendatsiy po proektirovaniu rabotaiushchih na sdvig gvozdevykh soedineniy [Comparison of domestic and foreign recommendations for the design of shear-working nail joints]. Legkie stroitelnye konstruktsii. Rostov n/D: Izd-vo RGSU, 2003. pp. 37-43.

7. Verzhbovskiy G.B., Eremenko N.N., Shchutskiy S.V. O rabote na sdvig gvozdevykh soedineniy paneley universalnogo nabora [On the work on the shear



nail joints of the universal set panels]. Legkie stroitelnye konstruktsii. Rostov n/D: Izd-vo RGSU, 2004. pp. 76-85.

8. Dezhin M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7025.

9. Zubarev G.N., Boitemirov F.A., Golovina V.M. I dr. Konstruktsii iz dereva i plastmass [Wood and plastic structures]. M.: Akademia, 2004. 304 p.

10. Arleninov D.K., Buslaev Yu.N., Ignatiev V.P. i dr. Konstruktsii iz dereva i plastmass [Wood and plastic structures]. M.: Izd-vo ASV, 2001. 276 p.