О ПРИЧИНАХ ОБРУШЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО СКЛАДСКОГО КОМПЛЕКСА В ДОМОДЕДОВСКОМ РАЙОНЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ И МЕРОПРИЯТИЯХ ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЕГО НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ

УДК 331.45

Ведяков Иван Иванович
Заместитель директора по научной работе ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г.Москва, заведующий лабораторией металлических конструкций, доктор технических наук

В январе 2008 г. произошло обрушение 80-90% конструкций смонтированного и сданного в эксплуатацию автоматизированного склада в Домодедовском районе Московской области (рис. 1).

Основной конструктивной особенностью склада является то, что стеллажи для складирования товаров одновременно являются основными несущими конструкциями.

Склад имеет размеры в плане 60×100 м и высоту от верха фундаментной плиты до кровли – 36 м. Поперечная рама здания представляет собой совокупность вертикальных решетчатых стоек-ферм, установленных с шагом 2,74 м, объединенных в уровне покрытия кровельной балкой-фермой. В средней части стойки-фермы установлены на рамы, состоящие из вертикальных решетчатых двутавровых стоек-ферм, объединенных горизонтальной перехватной фермой (рис.2).

Рис. 1

Между стойками-фермами в поперечном направлении на всю высоту и длину здания организованы проходы для автоматического крана-штабелера. Нижний рельс штабелера установлен на фундаментную плиту, а верхний крепится к поперечным кровельным балкам. Основная часть несущих конструкций (стойки-фермы, прогоны, система связей) в первоначальном варианте запроектирована и изготовлена из холодногнутых тонкостенных сложных открытых профилей. Все их монтажные соединения были выполнены одноболтовыми.

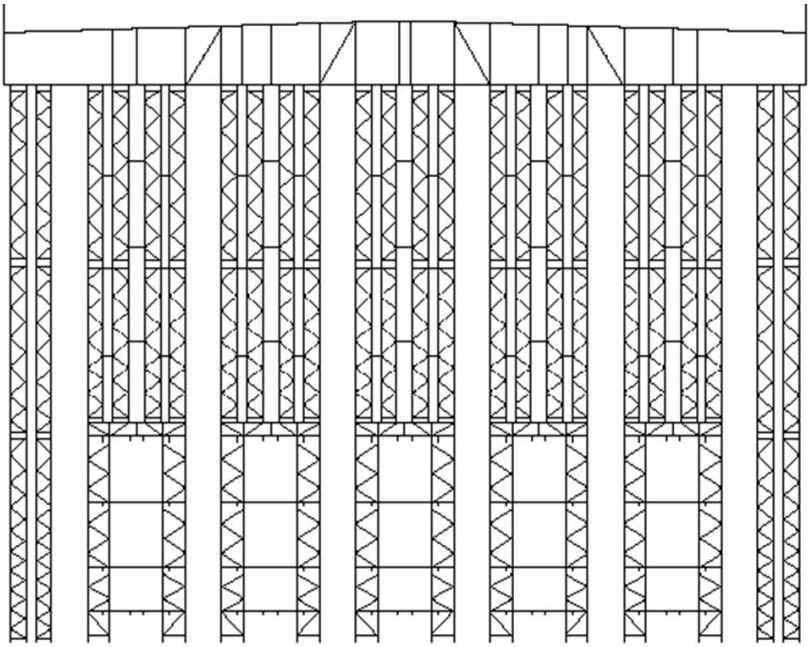

Рис. 2

Сотрудниками ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко было выполнено обследование обрушившихся конструкций и проведены поверочные расчеты. По результатам обследования и анализа конструктивной схемы здания установлено, что основной причиной обрушения явилось отсутствие обеспечения устойчивости каркаса в продольном направлении из-за неудовлетворительной системы вертикальных связей. Верхний и нижний пояса перехватных ферм не раскреплены в продольном направлении, отсутствие ребер в местах опирания решетчатых стоек привело к дополнительной потере устойчивости стенок поясов и их скручиванию (рис.3 и 4).

Рис. 3

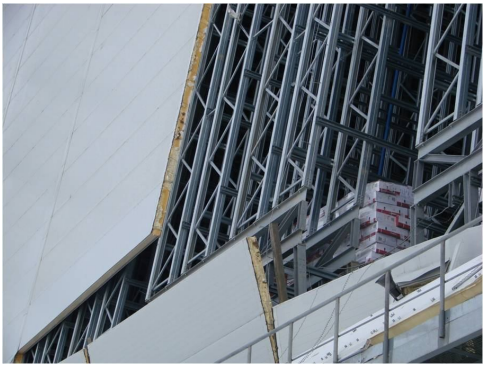

Рис. 4

Расчет каркаса здания склада на полную расчетную нагрузку показал, что коэффициент запаса по устойчивости равен 0,38, а на нагрузку, действующую на момент обрушения, составил 0,86. Форма потери устойчивости, полученная при расчете в нелинейной постановке, оказалась полностью повторяющей схему разрушения каркаса склада (рис.5).

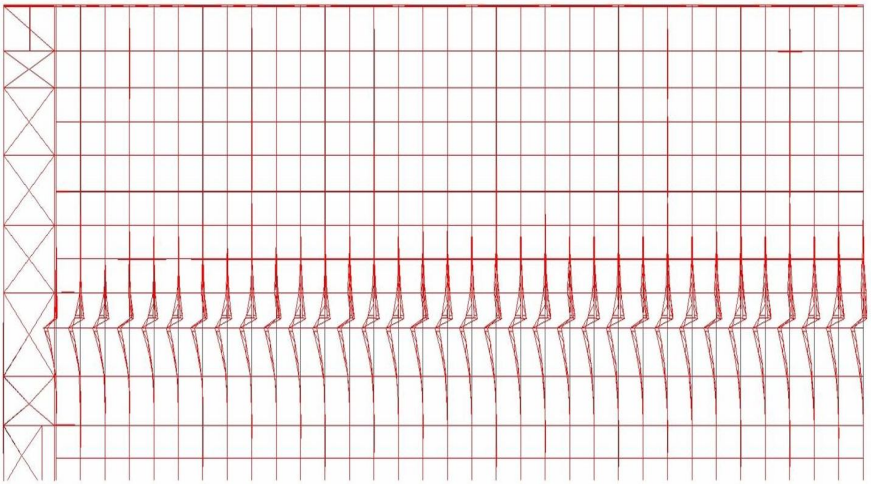

Рис. 5

Отметим некоторые особенности связевой системы этого каркаса. Вертикальные связевые устои продольного направления, распорки и стойки здания располагаются в разных плоскостях (рис. 6). Кроме того,

отдельные продольные распорки примыкали к стойкам вертикальных связевых ферм вне их узлов, а в середине панелей. Распорки стоек крайних рам перерезаны установленными воздуховодами холодильной системы (рис.7).

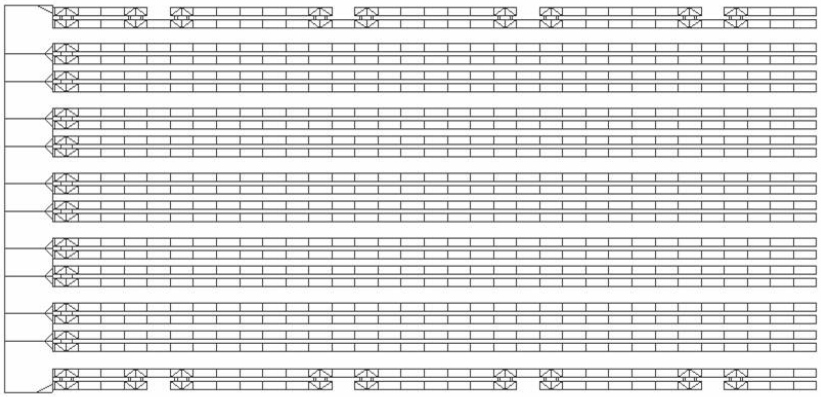

Рис. 6

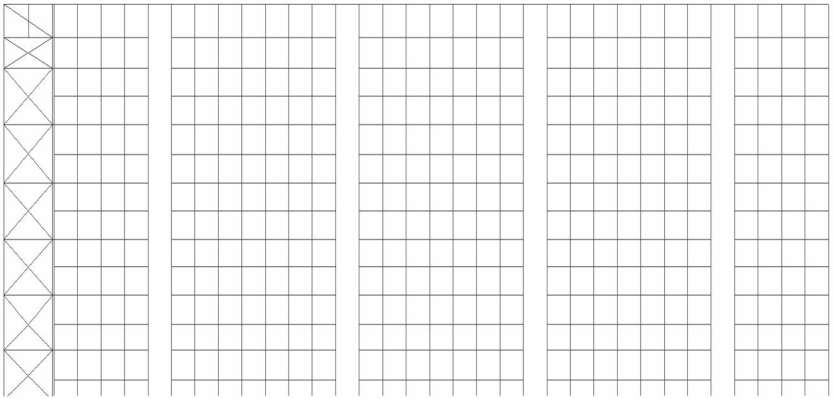

Рис. 7

Принимая во внимание тот факт, что стержни имели открытый профиль, эксцентричность сопряжения элементов также негативно сказалась на несущей способности конструкции в продольном направлении. Несущую систему с таким расположением элементов связей можно назвать «системой с нечетким связевым каркасом».

Фирмой-проектировщиком для восстановления здания был предложен новый проект, который был также не лишен недостатков связевой системы по каркасу. Кроме того, как в старом, так и в новом проекте отсутствовал жесткий диск покрытия. Описанные выше «нечеткости» связевой системы каркаса устранены не были. Эти недостатки сказались на общей устойчивости конструкции, что было подтверждено расчетами.

Следует отдельно остановиться на определении коэффициента устойчивости системы при помощи программного комплекса SCAD. При его вычислении возникли определенные трудности, так как расчет новой схемы, предложенной фирмой-проектировщиком, в линейной постановке показал удовлетворительные результаты и значение коэффициента на уровне 1,35. Нелинейный расчет показал для той же схемы значение коэффициента, равное 0,5. Вероятно, причина столь большого расхождения в полученных результатах линейного и нелинейного расчетов кроется именно в том, что рассматриваемая несущая система имеет нечеткий связевой каркас.

Специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко проведено усовершенствование схемы каркаса, включающее:

– увеличение сечения стоек основных рам и поясов перехватных ферм, в том числе замену открытых профилей на закрытые;
– добавление раскосов в перехватных фермах;
– дополнительные наклонные и вертикальные ребра жесткости в поясах перехватных ферм;
– замену шарнирных узлов крепления стоек к перехватным фермам и монтажных стыков стоек на жесткие (рис.8);
– введение дополнительных распорок по верхним и нижним поясам перехватных ферм с устройством вертикальных связей.

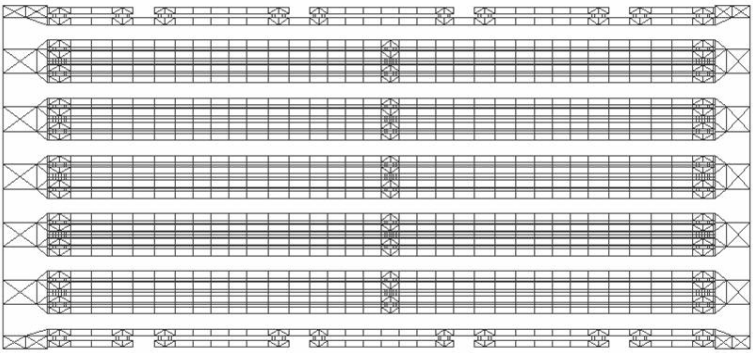

Рис. 8

Предусмотрено введение дополнительных вертикальных связей в связевом блоке, раскосов в ферме покрытия, горизонтальных связей в связевом блоке, а также дополнительных вертикальных связей по крайним осям стоек каркаса вдоль длинной стороны здания. Последнее позволило устранить дефект схемы, связанный с перерезанием распорок (рис.9).

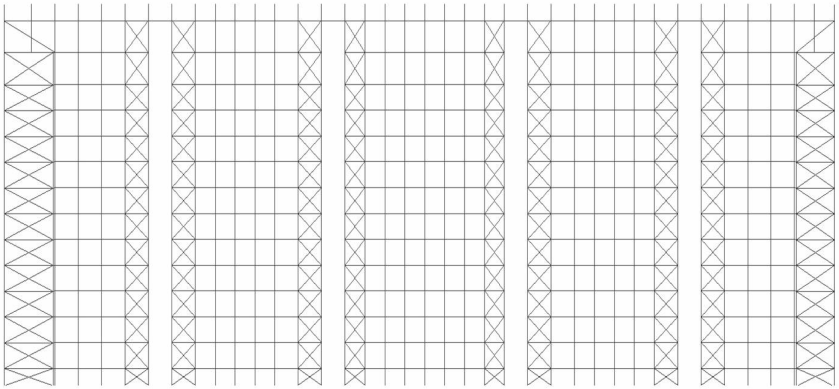

Рис. 9

Проведенные перечисленные выше мероприятия по усовершенствованию системы позволили получить коэффициент устойчивости системы при нелинейном расчете больше 1,3 при том, что в линейной постановке он был больше 2. Причем форма потери устойчивости при достижении критической нагрузки имела поперечное направление, что говорит о более «четкой» работе связевой системы.

Описанная конструкция автоматизированного склада не является уникальной для мирового строительства. За рубежом практика возведения подобных зданий преобрела массовый характер. ЦНИИСК проводил экспертизу проекта аналогичной конструкции, расположенной в д.Акулово Одинцовского района Московской области (рис.10). Первоначальный ее вариант не был лишен изъянов. Однако, запроектированная иной проектной организацией (так же иностранной) система вертикальных связей была более четкой, по сравнению с разрушившейся конструкцией, а коэффициенты устойчивости системы при линейном и нелинейном расчетах были близки.

Рис. 10

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы.

1. Допускается проектирование конструкции с нечетким связевым каркасом, однако их расчеты следует выполнять по пространственной расчетной схеме.
2. Практикуемая в странах ЕС методика расчета зданий по плоским рамам в поперечном и продольном направлениях для описанной конструктивной схемы не всегда позволяет правильно установить значение коэффициента общей устойчивости здания и адекватно оценить работу связевых элементов.
3. Для проверки устойчивости таких систем не следует ограничиваться линейным расчетом; окончательный вывод о несущей способности системы должен быть сделан по расчету в нелинейной постановке.
4. Рассматриваемую конструктивную систему, в которой стеллажи выполняют роль несущих конструкций, следует выделить в отдельный класс конструкций, так как его расчет и конструирование имеют ряд особенностей, не охваченных действующими нормами. В будущем подобные конструкции могут получить широкое распространение в РФ ввиду низкой металлоемкости, высокой технологичности возведения и эксплуатации.