

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ НЕСУЩИХ КАРКАСОВ ИЗ СТАЛЬНЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ

### FAILURE CAUSES ANALYSIS OF LOAD-CARRYING FRAMEWORKS MADE OF COLD-FORMED PROFILES

*д.т.н, профессор Пичугин С.Ф., к.т.н., доцент Семко В.А., к.т.н., доцент Склярченко С.А., аспирант Прохоренко Д.А. (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка)*

*Professor S. Pichugin, DSc., Associate prof. V. Semko, PhD, Associate Prof. S. Sklyarenko, PhD, postgraduate student D. Prokhorenko (Poltava Yuri Kondratyuk National Technical University)*

#### Аннотация

В работе рассмотрены возможные причины возникновения аварийных ситуаций в стальных каркасах из холодноформованных профилей. Анализ выполнен на основании двух реальных случаев.

#### Abstract

*In the paper the possible failures causes of supporting frames made of cold-formed steel profiles are examined on the basis of two real cases.*

**Постановка проблемы в общем виде и анализ состояния вопроса.** В последние время, в Украине, России и других постсоветских странах, активно внедряются в практику строительства каркасы из стальных тонкостенных холодноформованных конструкций. Данный тип конструкций имеет некоторую специфику в работе и проектировании по отношению к традиционным горячекатаным конструкциям [1, 2]. Очень часто низкий уровень подготовки специалистов по проектированию и монтажу тонкостенных холодноформованных конструкций приводит к авариям несущих элементов [3, 4].

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Анализ причин различных аварий стальных каркасов зданий позволяет не допустить их повторения в дальнейшем. Целью данной работы является изложение причин аварийных ситуаций произошедших на двух объектах в Украине и России.

**Изложение основного материала.** На протяжении 2013 года произошли две аварии к выяснениям причин которых были привлечены авторы данной работы. В первом случае произошло полное обрушение каркаса складского здания. Конструктивное решение здания – однопролетный каркас с двускатной фермой с параллельными поясами (рис. 1). Сечение колонн их двух  $\Sigma$ -профилей «в коробочку». Пояса фермы выполнены из двух С-профилей (рис. 1), стойки и раскосы фермы - из одиночных С-профилей расположенных между профилями поясов.

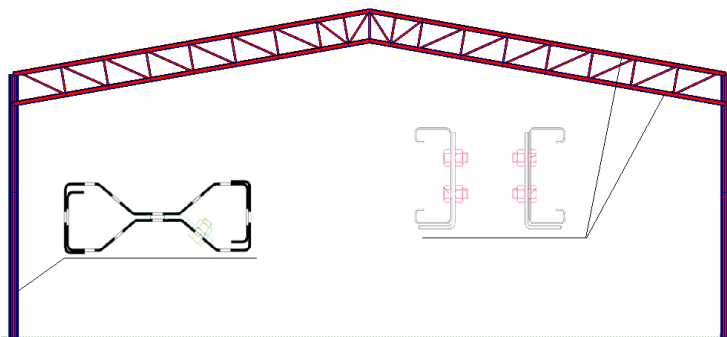


Рисунок 1. Поперечный каркас здания

Обрушение каркаса произошло стремительно, ночью во время сильного снегопада. В результате обрушения, стальные фермы частично уперлись в пол здания (рис. 2).

Один ряд колонн дал крен – но устоял, другой ряд колонн обрушился вслед за фермами. Ветви нижнего пояса фермы, на приопорном участке, потеряли устойчивость (см. рис.2).

Проведя поверочные расчеты каркаса согласно [1] было установлено, что несущая способность его элементов на сочетании постоянных, длительных и временных нагрузок была обеспеченной. Увеличение нагрузки на каркас до предельно допустимой, привело бы к разрушению данного каркаса по другому сценарию.

Проведя анализ разрушенных фрагментов, основное внимание было сконцентрировано на двух деталях:

1. потеря устойчивости элементов приопорной панели нижнего пояса;
2. уцелевшие колонны каркаса по оси Б и обрушившиеся, но прямолинейные колонны по оси А.

Так же при осмотре колонн было установлено, что ограждающие стеновые конструкции (были выполнены из стальных кассет, которые имеют форму швеллера высотой 500 мм, шириной 90

мм и толщиной профиля 0,75мм) прикреплены к полкам колонн стальными дюбелями с шагом 70-130 мм. Опираясь на эти факты, в расчетную модель рамы были внесены изменения, т.е. была увеличена жесткость колонн, за счет ее совместной работы с ограждающими конструкциями.



Рисунок 2. Фото обрушенного каркаса

Повторный расчет показал, что при увеличении жесткости колонны, происходит перераспределение усилий в элементах фермы и наибольшие напряжения наблюдаются именно в элементах нижней приопорной панели фермы.

Еще один фактор, который повлиял на потерю устойчивости элементов нижнего пояса фермы то, что их прикрепление к колоннам было выполнено через стальные L-образные фасонки. Наличие фасонки создало дополнительный эксцентриситет в поясе фермы.

При учете двух факторов – увеличения жесткости колонн за счет совместной работы с ограждающими элементами и эксцентричного закрепления нижнего пояса фермы к колоннам было получено расчетную модель рамы, при которой напряженно-деформированное состояние элементов соответствовало фактическому.

Т.е. выполнив поверочные расчеты, можно восстановить ход обрушения здания. В результате перераспределения усилий в элементах фермы, первой потеряли устойчивость элементы

приопорной панели нижнего пояса фермы. Выключение данной панели из работы привело к увеличению усилий в верхнем поясе (шестая панель от противоположной колонны) фермы и потери его устойчивости. «Перелом» фермы в этом месте привел к обрушению ближайшего ряда колонн и образованию картины разрушения представленной на рис. 2.

Вторая аварийная ситуация сложилась так же в складском здании, однако в данном случае обрушения несущих конструкций удалось избежать путем вовремя принятых мер по усилению. Складское здание представляет собой трехпролетный каркас (см. рис. 3). Шаг колонн составляет 6 м, шаг стропильных балок – 3 м. Между колоннами так же установлены подстропильные балки. Весь каркас выполнен из стальных холодноформованных профилей С- и П-образного сечений.

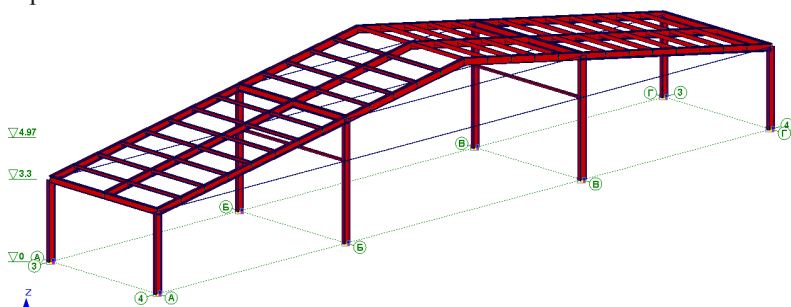


Рисунок 3. Фрагмент каркаса здания

Аварийная ситуация на объекте сложилась практически сразу после монтажа ограждающих конструкций. Стропильные балки, опирающиеся на подстропильные конструкции, прогнулись без снеговой нагрузки на величину превышающую допустимый прогиб (рис. 4).

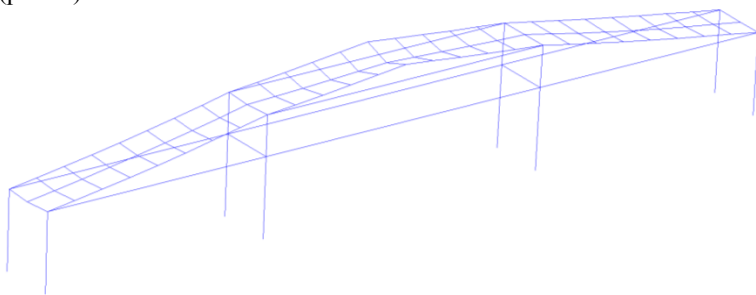


Рисунок 4. Расчетная деформированная схема фрагмента каркаса

В результате поверочных расчетов пространственной модели каркаса здания были получены деформации, которые соответствовали фактическим. В целом все конструктивные элементы были запроектированы надежно, кроме подстропильных балок. Это произошло по причине выполнения расчета лишь плоской задачи. Т.е. подстропильная балка была рассчитана как балка на двух опорах с сосредоточенной силой, что не соответствует фактической работе конструкции. В действительности подстропильные балки воспринимают распор от стропильных и имеют не только вертикальные, но и горизонтальные деформации, что в свою очередь привело к значительным деформациям стропильных конструкций. Вовремя принятые меры позволили стабилизировать негативные деформации каркаса.

В результате проведенной работы можно сделать следующие **выводы:** при проектировании каркасов, которые имеют многоуровневую систему подкрепляющих конструкций, рекомендуется для расчетов использовать пространственные модели; применение в каркасах ограждающих конструкций, которые имеют жесткость сопоставимую с несущими элементами требует дополнительных расчетов на эффект от их совместной работы. В случае негативных последствий от совместной работы несущих и ограждающих конструкций необходимо в проекте разработать способы по исключению ограждающих конструкций из работы каркаса; использование дополнительных соединительных элементов в узлах несущих конструкций, требует учета возможного эксцентриситета при подборе их сечений.

*Список литературы:*

1. ДСТУ-Н EN 1993-1-3:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів (EN 1993-1-3:2006 IDT). – Київ : Мінрегіон, 2012. – 220 с.
2. EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. – Brussels : CEN, 2006. – 134 p.
3. Investigation of the September 10, 2012 partial collapse of a building under construction at 227 Carlton Avenue, Brooklyn, NY / Mohammad Ayub, Tesfaye B. Guttema. – Washington : Occupational Safety and Health Administration, 2012. – 17 p.
4. Biegus A. Collapse of halls made from cold-formed steel sheets / A. Biegus, A. Kowal // Engineering Failure Analysis. – 2013. - №31. – P. 189–194.