

Д.А. ДАНИЛОВ

ассистент кафедры городского строительства и хозяйства
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

НАРУШЕНИЯ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕХИМИИ

DISTURBANCE CAUSED BY TO MODIFY A STATIC OF WORK FRAME CONSTRUCTIONS ON PETROCHEMICAL ENTERPRISES

Рассмотрены изменения состояния строительных конструкций на примере одной из производственных этажерок нефтехимического предприятия за счет коррозии металлических конструкций при безостановочной эксплуатации. Проанализированы причины повреждений и определены потери начальных качеств строительных конструкций.

Ключевые слова: этажерка, обследование, коррозия, безопасность, статический расчет.

Строительные конструкции зданий и сооружений от их возведения до предельного разрушения проходят несколько этапов: проектирование, изготовление, транспортировка, монтаж, приработка, нормальная эксплуатация, старение и стадия разрушения. На каждом из этих этапов могут быть допущены просчеты, отклонения от нормативных характеристик, либо, в силу определенных причин, в строительных конструкциях на отдельных стадиях их работы могут возникать различные повреждения. Все это вызывает преждевременное ослабление конструкций, из-за чего в зданиях и сооружениях порой могут создаваться аварийные ситуации, приводящие к разрушениям. На промышленных предприятиях существует целый ряд объектов, аварии на которых могут привести не только к экономическим производственным потерям, но и к существенному нанесению ущерба окружающей среде. К таким опасным производственным объектам относятся практически все здания и сооружения основных химических и нефтехимических производств, где особенно сильно проявляется преждевременное старение конструкций. Такие предприятия отличаются большим потреблением воды. Во время профилактического ремонта происходит ее утечка при промывке аппаратов, а также при нарушении работы запорной арматуры. Периодическое замачивание несущих конструкций в сочетании с температурными воздействиями приводит их к преждевременному износу.

Examined changes condition of building constructions by the example one of the production independent stack-frame petrochemical enterprise due to corrosion of metal structures with unceasing exploitation. Analyzed the causes damages and the loss are defined initial qualities of building structures.

Keywords: independent stack-frame, a survey, corrosion, safety, static analysis.

Этому способствует и наличие агрессивных агентов, действие которых в сочетании с влагой приводит к коррозии металлов.

Для обеспечения долговременной безаварийной и безопасной работы строительных конструкций следует проводить мониторинг их технического состояния, что позволяет своевременно принять охраняющие меры и предотвратить преждевременный выход из строя эксплуатируемого объекта.

С каждым годом основные фонды предприятий устаревают. Зачастую это происходит в условиях факторов, отрицательно влияющих на состояние строительных конструкций, в том числе и по вине работающего персонала.

На химических и нефтехимических предприятиях широкое распространение получили рамные конструкции в виде различного рода этажерок, на которых размещается технологическое оборудование. В общем случае, по определению [1], рама - это плоская или пространственная геометрически неизменяемая стержневая система, которая состоит из несущих элементов (стоек и ригелей), во всех или некоторых узлах жестко соединенных между собой, и связевых конструкций. Несущие элементы воспринимают основные нагрузки сооружения и обеспечивают их прочность и жесткость (на вертикальные несущие конструкции воздействуют в основном сжимающие усилия; на горизонтальные - внецентренно нагруженные), а связи обеспечивают устойчи-



Рис. 1. Общий вид этажерки Д-5

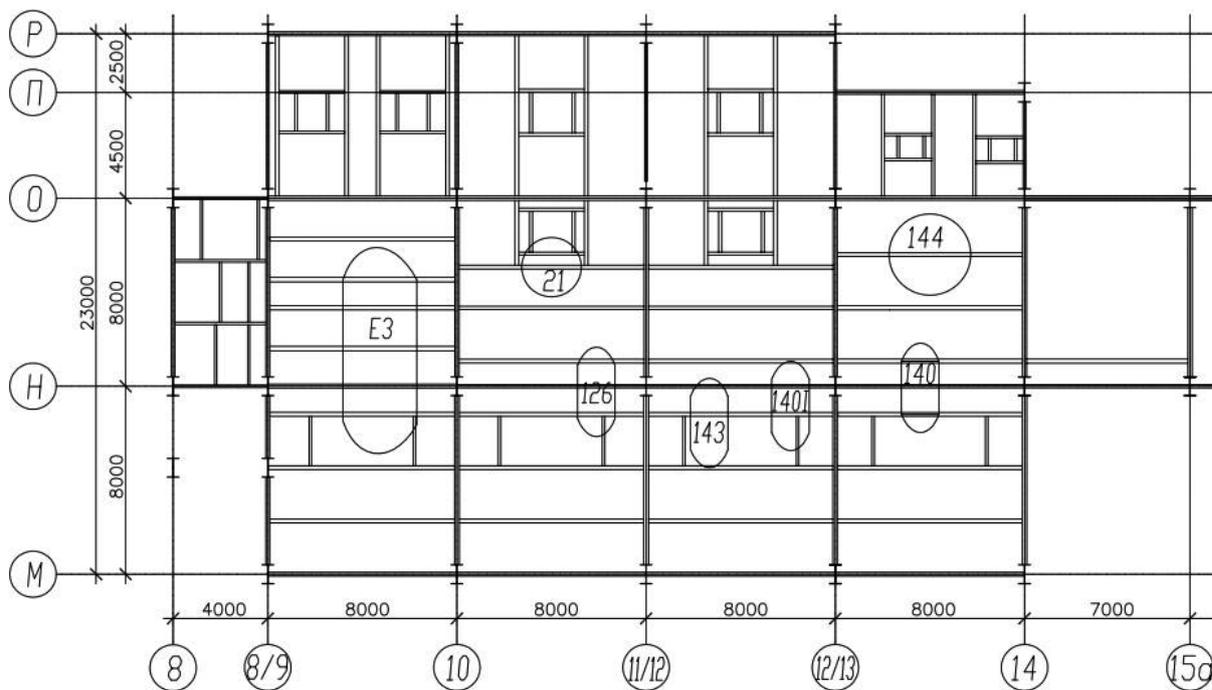


Рис. 2. План этажерки Д-5 на отметке 4,8 м с расположением оборудования

чивость основных (несущих) конструкций каркаса и пространственную жесткость сооружения в целом.

На примере одной из многочисленных этажек рассмотрим ее как систему строительных конструкций, единичный элемент которой в результате нарушений в процессе эксплуатации способен привести к изменению статической схемы работы всей системы и повлиять на безопасность эксплуатирующегося сооружения в целом.

Данные по объекту. Наружная установка цеха Д-3-5 представляет собой многоярусную этажерку, каркас которой выполнен из металла. Расположена этажерка Д-3-5 в осях М-Р, в рядах 8-23, причем в рядах 17-23 размещается этажерка цеха Д-3, в рядах 8-14 – этажерка цеха Д-5, которую и рассмотрим. Сооружение было возведено в 1968 г. Высота установки составляет 28,8 м. Наружная установка открытого

типа без стенового заполнения предназначена для размещения технологического оборудования с расположением площадок для обслуживания, разборки и ремонта аппаратов. Общий вид обследуемой этажерки представлен на рис. 1. План этажерки Д-5 на отметке 4,8 м с размещением оборудования показан на рис. 2.

В конструктивном отношении - сооружение рамного типа, состоящее из металлических колонн двутаврового сечения с размерами 300x380 мм и толщиной стенок от 10 до 16 мм. Балочная клетка состоит из главных и второстепенных балок, выполненных из прокатных профилей от I №16 до I №60. Для обеспечения жесткости этажерки установлены связи из спаренных уголков. В пределах связевых блоков связевые элементы каркаса имеют увеличенную толщину; использованы уголки 160x100x10 мм, поперечный разрез

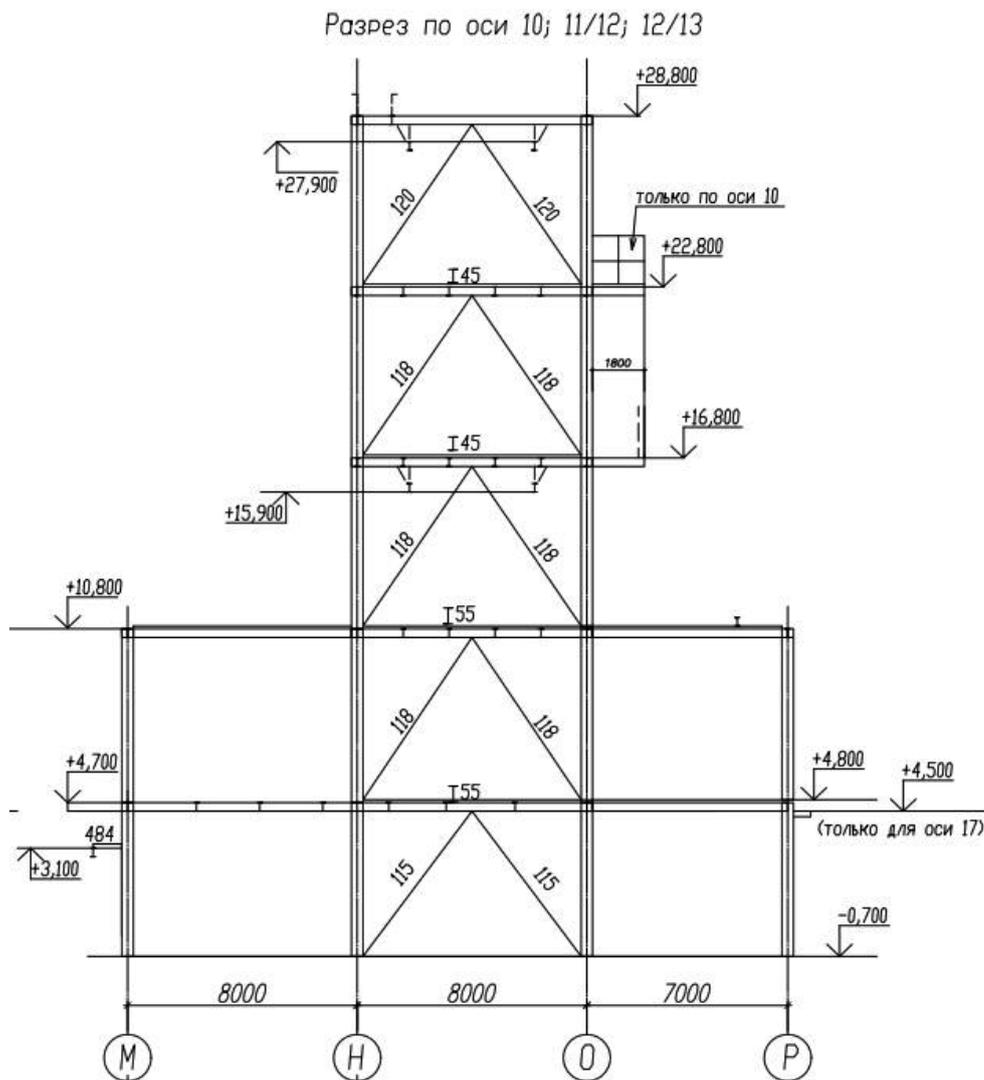


Рис. 3. Поперечный разрез этажерки Д-5

представлен на рис. 3. Перекрытия на отметке +4.800 выполнены из монолитного железобетона, выше - из металлического просечного настила по балочной клетке. В целях обеспечения пожарной безопасности металлические стойки и балки в пределах первого этажа обетонированы железобетонной рубашкой, выше металлоконструкции окрашены краской.

При обследовании установки выявлено, что наибольшие повреждения элементов каркаса наружной установки наблюдаются в пределах первого яруса. Карты повреждений стоек, балок и плит перекрытия на отметке 4,800 представлены на рис. 4.

Наибольшие повреждения получили стойки в отметках 0-4,8 м в осях 8/9- 11/12/О-М, а также балки в осях 8/9-12/13/О-М. Для оценки состояния в местах наибольшего замачивания была выборочно вскрыта бетонная огнезащита.

Установлено, что в аварийном состоянии находится стойка в осях 10/Н с повреждением слоистой коррозией на всю толщину от 50 % сечения до сквозной. Продукты коррозии при ударе молотком легко разрушаются на локальных участках. Коррозия су-

щественно уменьшила рабочее сечение стойки, что вызвало повышенные деформации всего сооружения и перераспределение усилий системы конструкции этажерки.

В меньшей степени повреждены коррозией (до 15-30 %) стойки в осях 11/12/Н; 11/12/М; 8/9/М; 8/9/М/Н. Остальные стойки первого яруса находятся в удовлетворительном состоянии.

Из-за протечек технологических жидкостей сильные коррозионные повреждения получили балки по оси О в рядах 10-11/12, 11/12-12/13 - коррозия до 40 %. В аналогичном состоянии находятся балки перекрытия на отметке 4,800 м, в рядах 8/9-12/13 в осях О - М коррозия доходит до 40 %. На закрытых бетоном участках образовалась слоистая коррозия, которая легко разбирается руками. В аварийном состоянии находятся балки Б15; Б19; Б18 и Б9 в рядах 11/12-12/13 в осях О - М. Их следует разгрузить во избежание обрушения. В предаварийном состоянии находятся балки Б14; Б8, Б6, Б13 и Б12 в осях 8/9-10; О - М, которые являются несущими под аппарат Е-3. Полная масса с продуктом составляет около 60 т.

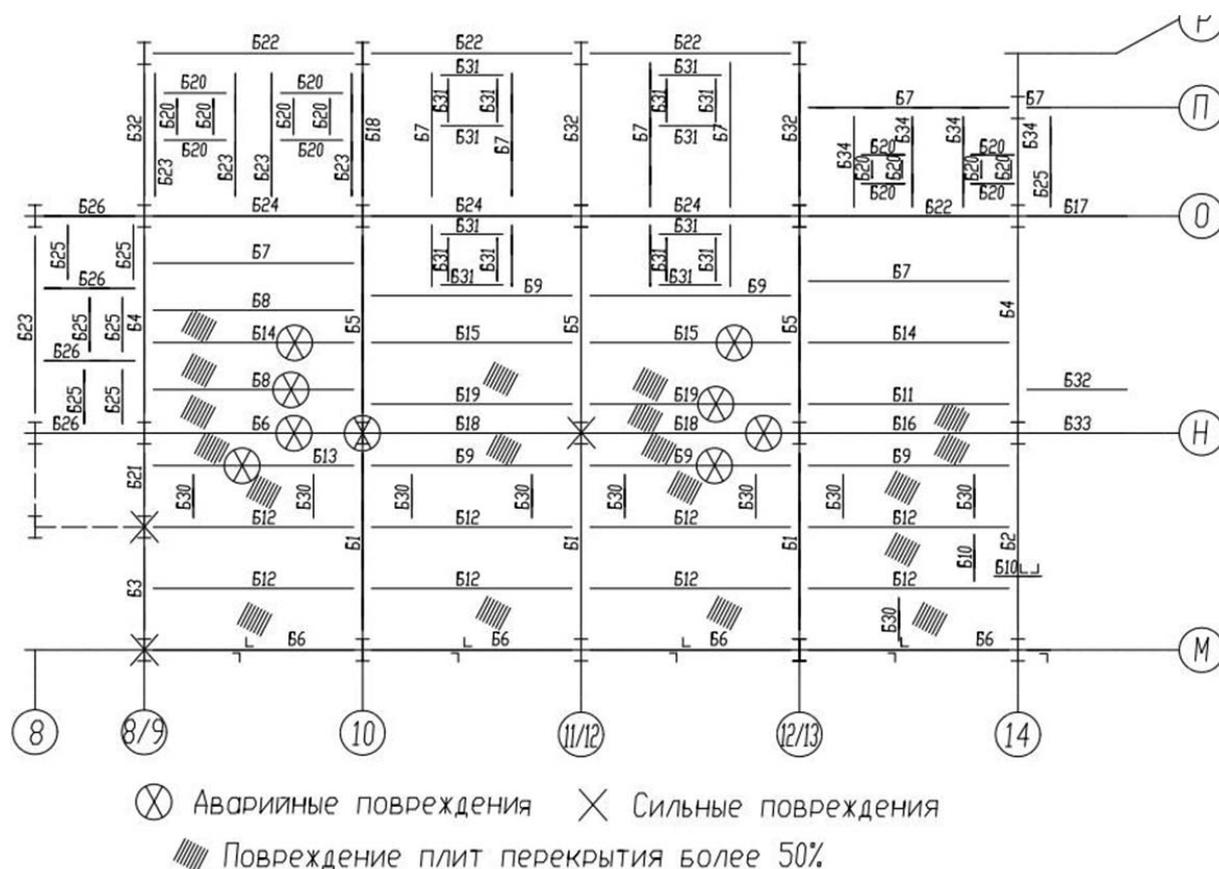


Рис. 4. Карты повреждений стоек, балок и плит перекрытия на отметке 4,800



Рис. 5. Повреждение слоистой коррозией стойки по оси 10/Н



Рис. 6. Коррозионные повреждения балки



Рис. 7. Повреждения железобетонных участков плит

В аварийном состоянии находится железобетонная плита перекрытия на ряде участков в осях О–М/8/9–14. Плита разрушена на площади 50 % и восстановлению не подлежит. Остальная часть повреждена участками на 20÷40 %. Рабочая арматура плиты полностью прокорродировала и отделилась от бетона на локальных участках. При нештатном нагружении возможно обрушение бетонной плиты. На ярусах выше отметки 4,800 м элементы каркаса имеют небольшие повреждения в виде прогибов

полок и несанкционированных вырезов, нарушена окраска. В целом их состояние удовлетворительное, они находятся в работоспособном состоянии. Это объясняется хорошей проветриваемостью конструкций даже в тех местах, где были протечки.

В результате произошло перераспределение усилий системы конструкции этажерки и коррозии швов по контакту сухарей и ветвей связей, последние разошлись на различную величину. Общая картина нарушений расхождения связей представлена на рис. 8.

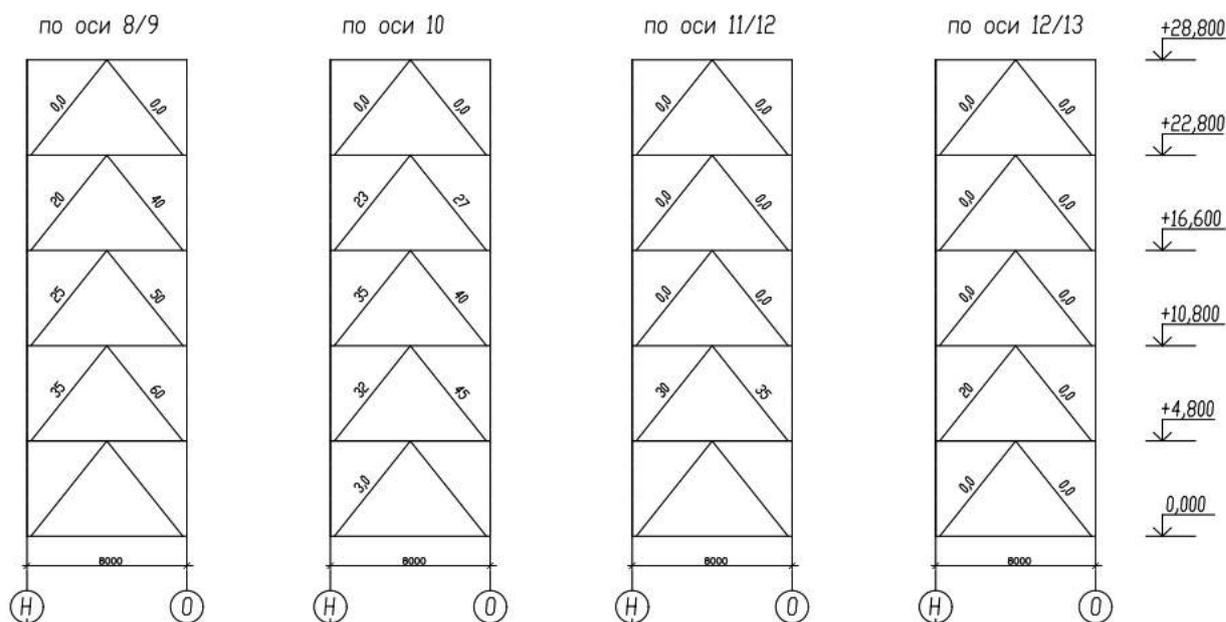


Рис. 8. Схема расхождения поврежденных связей в поперечном разрезе этажерки



Рис. 9. Расхождение связей эшажерки

Проведенные обследования показали, что основными причинами повреждений конструкций каркаса установки Д-5 являются поражение их коррозией из-за протечек технологических жидкостей и воздействия агрессивной среды на металл.

Наибольшие повреждения обнаружены в пределах первого яруса наружной установки. В целях обеспечения пожарной безопасности на элементы металлического каркаса первого яруса «надевают» железобетонную рубашку. Однако обеспечить полную герметизацию конструкций без зазоров не удастся, особенно в местах сопряжения вертикальных и горизонтальных элементов. Затруднен контроль состояния зоны контакта бетона и плоскостей прокатного профиля при устройстве рубашки.

В процессе производства из-за изношенности оборудования в течение длительного времени и при профилактических работах наблюдаются протечки. Происходит замачивание железобетонной рубашки. Попавшие внутрь ее агрессивные стоки долго не высыхают, вызывая интенсивную коррозию как арматуры железобетонной рубашки, так и непосредственно защищаемого металлического элемента каркаса. Затрудненное испарение агрессивных рассолов создает в образовавшихся полостях «рубашки» парниковый

эффект, что еще более ускоряет течение процесса коррозии в замоченных местах. Снижается несущая способность конструкций. В замоченных зонах стенки и полки конструктивных элементов покрываются слоями коррозии, толщина которых зависит от длительности пребывания в замоченной зоне.

О степени коррозии железобетонного элемента можно судить по ширине раскрытия трещин. Так как образующаяся коррозия увеличивается в объеме в 2-3 раза по сравнению со скорродированной частью металла, то продукты коррозии, увеличиваясь в объеме, нарушают сплошность бетонной рубашки. При начальной коррозии вдоль арматуры возникают волосные трещины, которые затем раскрываются до 1 мм. При средней степени коррозии эти трещины измеряются миллиметрами. При сильной коррозии идет отторжение защитного слоя бетона на значительных по длине участках. Трещина по ширине раскрытия достигает 1 см и более, происходит обрушение отторгающихся кусков.

Опыт безопасной эксплуатации металлических конструкций показывает, что применение для огнезащиты металлоконструкций обкладок из кирпича или железобетона является нецелесообразным, так как это существенно сокращает срок службы основ-

ных несущих элементов и рано выводит конструкции из работоспособного состояния.

Коррозионное повреждение стойки по оси 10/Н привело к снижению ее сечения, большим деформациям всей каркасной системы конструкции, к перераспределению усилий в стержнях и в частности к перезагрузению связевых элементов, что видно из поверочного моделирования, выполненного на математической модели системы этажерки при помощи программного комплекса SCAD Office v 11.1. В результате перераспределения усилий в элементах рамы связи включаются в работу и оказываются сжатыми. Коррозионное нарушение связи из двух уголков заставляет работать каждую ее ветвь в отдельности. Из-за большой гибкости ветви (под действием сжимающей силы) происходит ее выгиб из плоскости. Система в таком виде не подлежит эксплуатации. Необходимы восстановительные работы поврежденных элементов каркаса.

Расчет пространственной системы на статические воздействия с выбором расчетных сочетаний

усилий выполнен с применением программного комплекса SCAD Office v 11.1. В основу расчета положен метод конечных элементов, соответствующий положениям следующих разделов СНиП [2, 3].

Математическое моделирование расчетной схемы сооружения производилось поэтапно следующим образом: поэтажная разбивка системы стержневых элементов (колонн, вертикальных связей, балок перекрытий) с последующей компоновкой элементов перекрытий (для учета пространственной жесткости каркаса). При расчете конструкций нагрузки и воздействия принимаются по [2]. Статический расчет пространственной системы конструкции рамы выполнен на действие постоянных (собственная масса конструкций, масса обетонки) и временных нагрузок (полезная нагрузка на перекрытия и масса оборудования). Расчетная схема сооружения (математическая модель) показана на рис. 10.

Анализ распределения усилий в системе конструкции этажерки выполнен на математической модели плоской системы конструкций рамы по оси

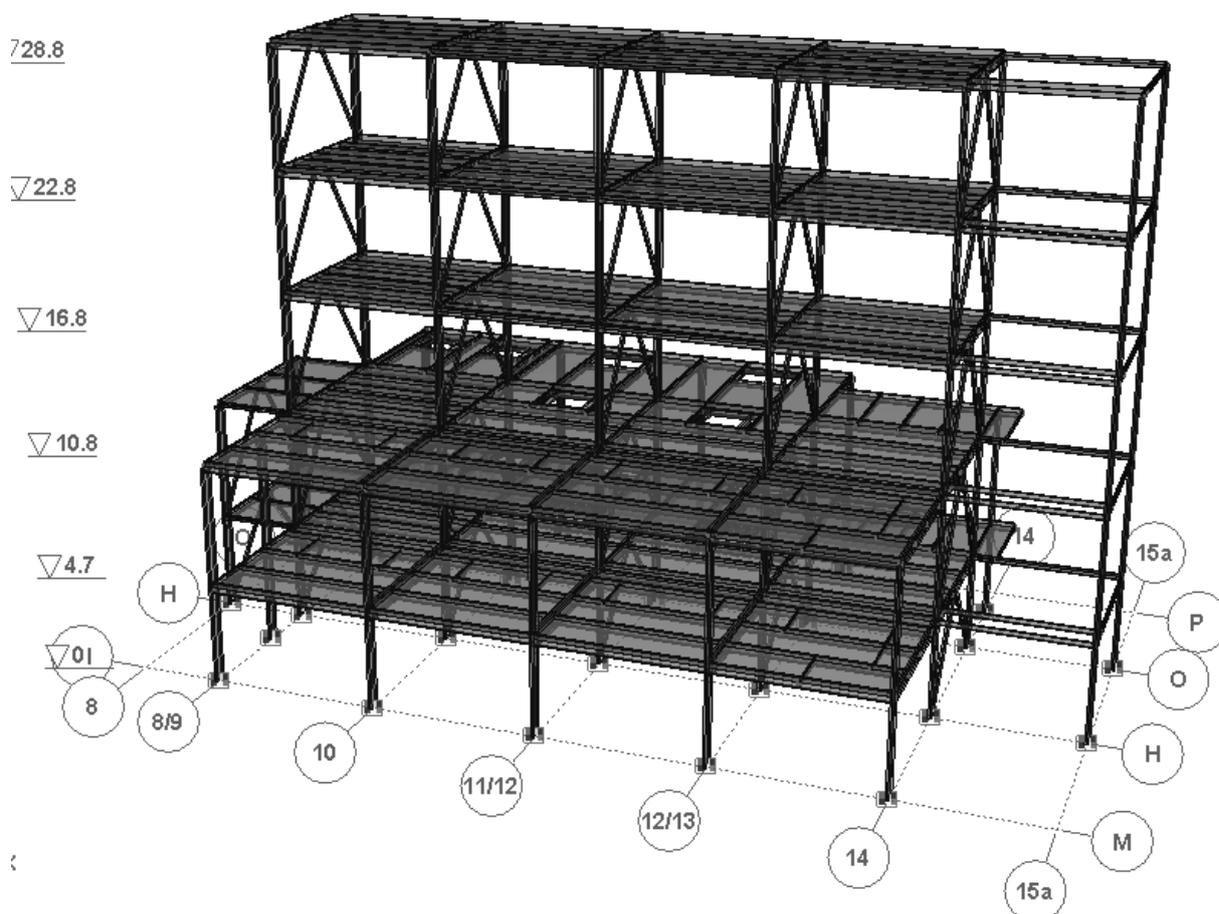


Рис. 10. Математическая модель этажерки, представленная в программе SCAD Office

10, входящей в состав модели с учетом наиболее поврежденного ее участка (стойки по оси 10/Н). Результаты расчета данных представлены в табл. 1, нумерация металлических стоек, связей и балок, перемещения математической системы конструкции, а также эпюры с усилиями от нормальных усилий по проекту и с учетом фактического параметра стойки по оси 10-Н конструкций показаны на рис. 12-13.

Первоочередной статический расчет математической модели системы конструкции рамы производился с элементами этажерки, размеры которых приняты по проекту. Полученные данные сравнивались с результатами, полученными вследствие моделирования поврежденного элемента в системе конструкции этажерки, т.е. с измененной жесткостью одного из элементов системы конструкции, а именно стойки в отметках 0-4,7 м по оси 10/Н. Харак-

теристики сечения стойки рамы взяты по замерам, полученным в ходе обследования.

При анализе полученных результатов расчетов и эпюр усилий отмечено перераспределение усилий во всей системе элементов рамы. Изменяется статическая схема работы конструкции.

Связи, предназначенные для восприятия в основном горизонтальных нагрузок, включаются в работу по принятию дополнительных вертикальных нагрузок и оказываются сжатыми.

В результате появляются дополнительные усилия в системе с разницей в пределах от двух до 15 т (что соответствует увеличению нагрузки на 10-50 % по сравнению с проектной). Из-за большой гибкости ветви (под действием сжимающей силы) происходит выгиб из плоскости. Этим объясняются нарушения сварки вдоль сухарей и расхождение связей на вели-

Таблица 1

Результаты расчета усилий и напряжений (комбинации)

Номер элемента	Номер сечения	Значения усилий по проекту	Фактические значения усилий
		N (т.)	N (т.)
1219	1	-27,917	-29,562
1219	2	-27,917	-29,562
1219	3	-27,917	-29,562
1220	1	-29,548	-35,07
1220	2	-29,548	-35,07
1220	3	-29,548	-35,07
1221	1	-7,584	6,213
1221	2	-7,584	6,213
1221	3	-7,584	6,213
1222	1	-18,338	-32,981
1222	2	-18,338	-32,981
1222	3	-18,338	-32,981
1223	1	-4,921	3,343
1223	2	-4,921	3,343
1223	3	-4,921	3,343
1224	1	-15,223	-23,002
1224	2	-15,223	-23,002
1224	3	-15,223	-23,002
1225	1	-4,082	1,169
1225	2	-4,082	1,169
1225	3	-4,082	1,169
1226	1	-10,746	-15,785
1226	2	-10,746	-15,785
1226	3	-10,746	-15,785
1227	1	-5,099	-1,225
1227	2	-5,099	-1,225
1227	3	-5,099	-1,225
1228	1	-9,894	-13,541
1228	2	-9,894	-13,541
1228	3	-9,894	-13,541

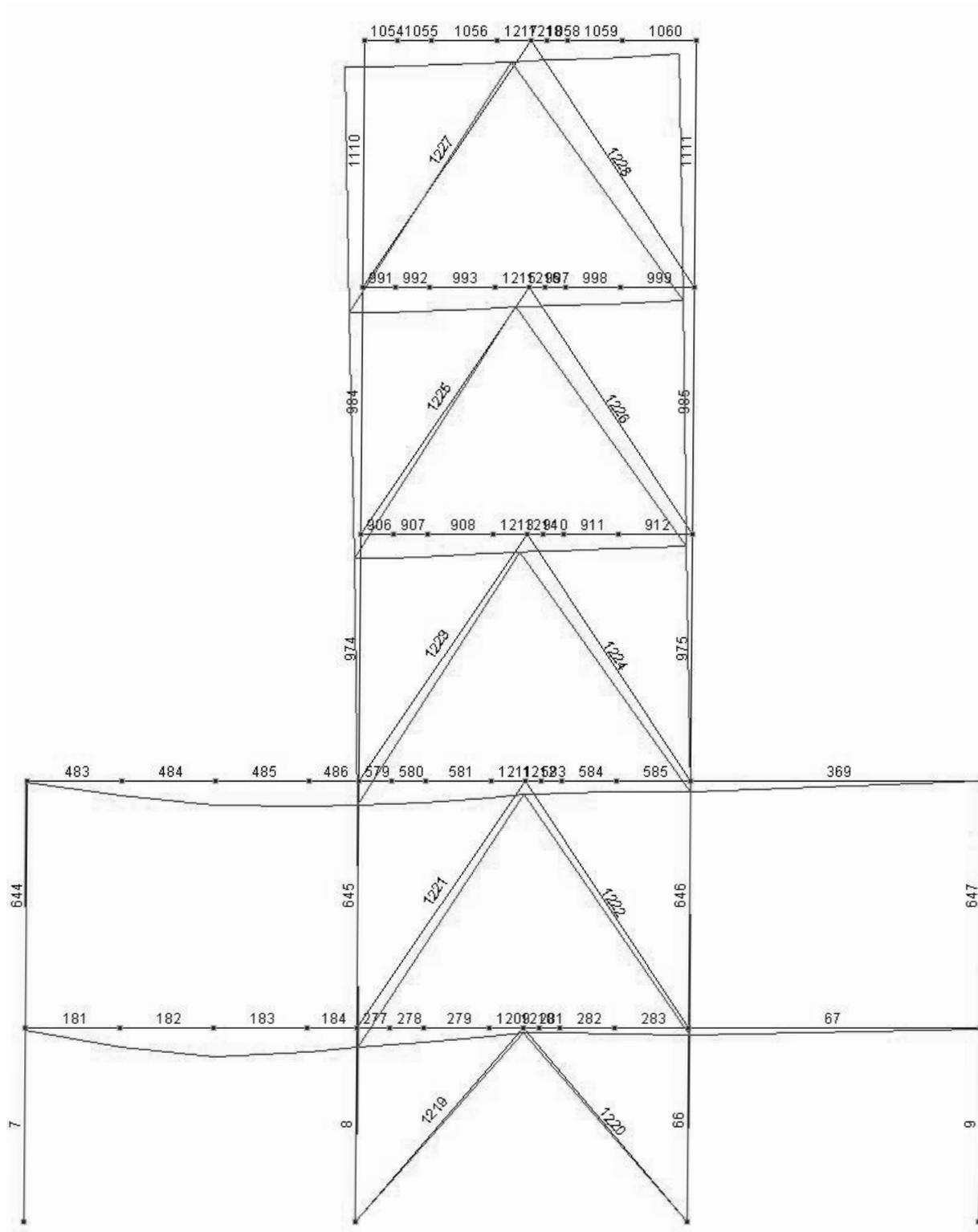


Рис. 12. Деформации математической системы конструкции вследствие действия нагрузок с учетом поврежденного элемента

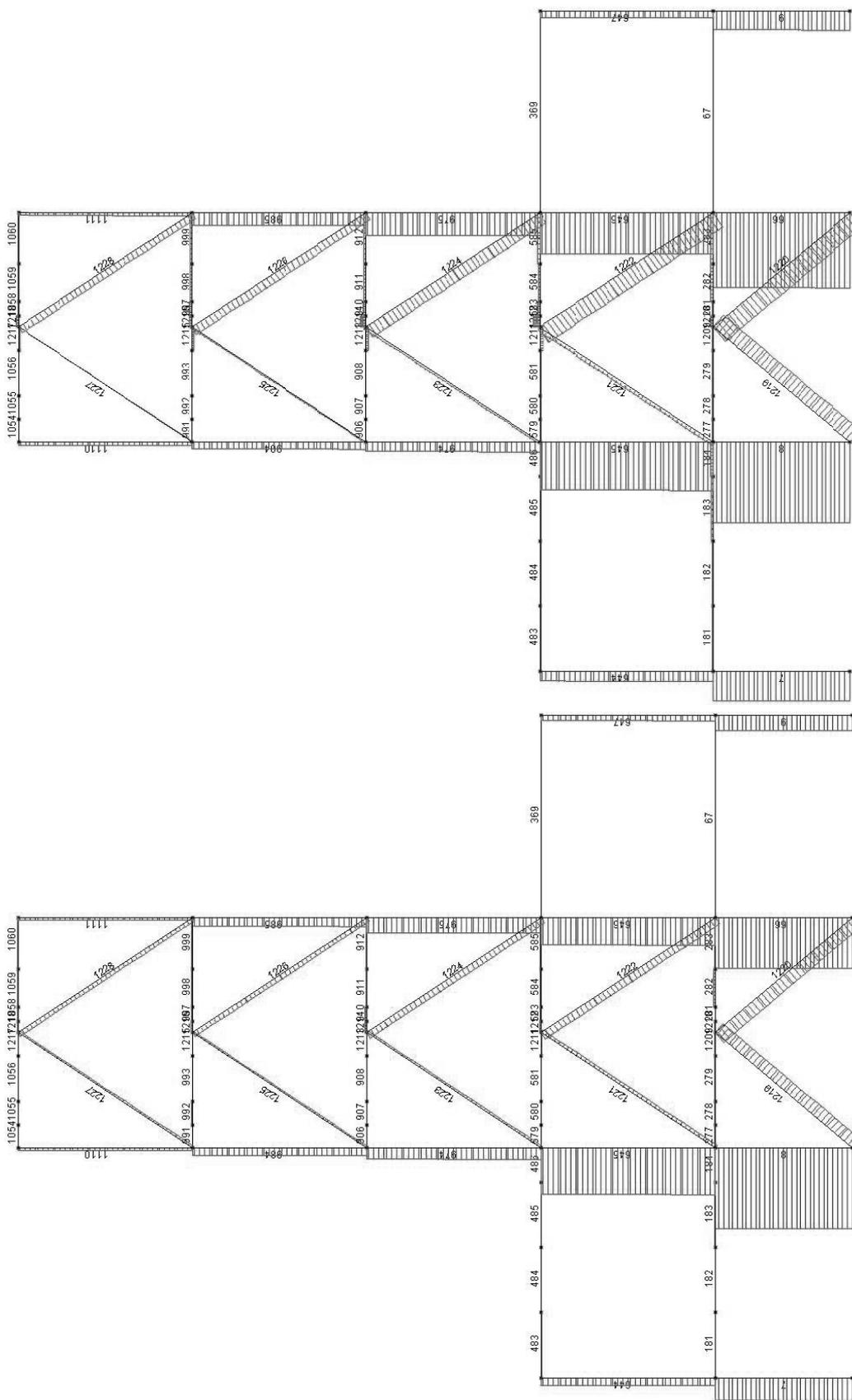


Рис. 13. Эпюры с усилениями от нормальных сил по проекту и с учетом поврежденных характеристик материалов

чину, представленную на рис. 8, а также нарушения нормальной работы связевых ветвей в системе строительных конструкций.

В результате обследования системы строительных конструкций этажерки Д-5 цеха Д-3-5, можно провести обобщенный анализ причин повреждения, вызвавших нарушение безопасной работы системы строительных конструкций, и сделать следующие выводы:

1. Металлоконструкции наружной установки выше отметки первого уровня получили небольшие повреждения в виде погибов полок двутавра, местных небольших вырезов, отмечены нарушения окрасочного состава. В целом металлоконструкции находятся в работоспособном состоянии. Исключения составляют связи жесткости.

2. Наибольшие повреждения обнаружены в пределах первого яруса наружной установки. Огнезащита металлоконструкций, по требованиям пожарной безопасности, сделана в виде железобетонной оболочки, которая из-за постоянного замачивания способствует интенсивной коррозии металла.

3. Коррозионное повреждение стоек этажерки приводит к изменению жесткости конструктивных элементов каркаса, что приводит, в свою очередь, к деформациям и к перераспределению усилий в системе. Связи включаются в работу и оказываются сжатыми. Коррозионное нарушение связи в виде двух уголков с сухариками заставляет работать каждую ее ветвь в отдельности. Из-за большой гибкости ветви происходит выгиб из плоскости, ведущий к аварийному состоянию конструкции.

4. После анализа материала можно выявить факторы, влияющие на безопасность сооружений на химических и нефтехимических предприятиях. Несоблюдение правил по эксплуатации этажерки, развившееся в несвоевременных ремонтных работах и нарушениях технологического процесса, которые привели к постоянному замачиванию элементов, способствовало интенсивному процессу коррозии. Для рассмотренных систем более целесообразны новые материалы, обеспечивающие требуемую огнестойкость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТО 22-06-04. Эксплуатация стальных конструкций промышленных зданий. Термины. Технические понятия. Выпуск 1. ЗАО "ЦНИИПСК им. Мельникова" [Текст]. – М., 2004.
2. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия [Текст] / Госстрой СССР. – М., 1987.
3. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции [Текст] / Госстрой СССР. – М., 1982.

© Данилов Д.А., 2013