

2) армированные образцы имеют меньшую трещиностойкость. Это уменьшение можно объяснить существованием повышенных напряженных зон возле арматурного стержня. Арматура является концентратором локальных напряжений и при растяжении способствует развитию поперечных напряжений, которые стремятся разорвать бетон;

3) диаметр арматуры существенно влияет на характер трещинообразования: при большем диаметре арматуры бетон получает одинаковую деформацию, но выдерживает меньшую нагрузку. Это подтверждает предположение о развитии локальных напряжений вокруг арматуры: чем больше диаметр арматуры, тем больше зон концентраций напряжения в бетоне.

Величина усилия трещинообразования в первой серии для бетонных образцов – 11,0 кН, для образцов с арматурой – 10 кН; во второй серии для бетонных образцов и для образцов с арматурой – 11,0 кН. При этом деформация бетона с арматурой $\varnothing 8$ мм (АIII) равна $6,2 \cdot 10^{-5}$, а с арматурой $\varnothing 6$ мм (AI) при одинаковой нагрузке трещинообразования – $5,8 \cdot 10^{-5}$. У образцов без арматуры в обоих случаях момент трещинообразования был больше приблизительно на 9,24%, чем у образцов с арматурой.

Получено 23.08.2000

УДК 69.024.8

Е.М.ЕРМАК, канд. техн. наук

Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта

ОБ УЧЕТЕ ЧАСТИЧНОЙ НЕРАЗРЕЗНОСТИ РИГЕЛЕЙ ПОПЕРЕЧНЫХ РАМ СТАЛЬНОГО КАРКАСА ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Рассматриваются характерные случаи повреждений эксплуатируемых конструкций стального каркаса одноэтажных промышленных зданий (ОПЗ), когда для объективной оценки несущей способности требуется составление и анализ нестандартных расчетных моделей с учетом неполной неразрезности строительных конструкций.

При определении технического состояния эксплуатируемых конструкций ОПЗ неоднократно отмечалось [1, 2], что нижние пояса сквозных ригелей поперечных рам иногда имеют характерные и опасные повреждения – искривление и скручивание элементов крайних панелей. Установлено, что такие деформации являются следствием сжимающих усилий, на которые нижний пояс, обычно работающий на растяжение, не рассчитывали.

Для учета вероятности сжатия нижних поясов стропильных ферм и внесения необходимых поправок в расчетные модели поперечных рам нужно знать причины возникновения этих усилий. Изучение конструктивных особенностей поврежденных конструкций и условий их эксплуатации, а также расчетный анализ позволили установить следующие причины указанного явления:

1. Наличие дополнительных опор, жестких или упругих, ограничивающих горизонтальные перемещения рамы в уровне нижнего пояса ригеля; в этом случае нижний пояс фермы будет сжат усилием распора.

На рис.1 показано сравнительное распределение усилий в нижнем поясе стропильной фермы, "шарнирно" опирающейся на колонны; сначала когда горизонтальное перемещение одной из опор возможно (рис.1, а), а затем когда по этому направлению наложены жесткие связи на обе опоры (рис.1, б). Сжимающие усилия в крайних панелях фермы во втором случае получаются значительными.

На практике конструктивные изменения, накладывающие такие связи на раму, встречаются при реконструкции, когда выполняют пристройки к пролету цеха.

Отметим, что в качестве связей, ограничивающих горизонтальные перемещения рамы в уровне нижнего пояса ригеля, нужно рассматривать также продольные "диски" каркаса (кровля, связи по нижним поясам ферм, тормозные и подкрановые элементы).

Принцип схематизации таких связей на расчетной модели поперечных рам каркаса ОПЗ изложен в [4].

2. Воздействие высоких температур. В горячих цехах (например, металлургических предприятий) температура нагрева конструкций покрытия достигает 200-300 °С. В условиях ограничения температурных перемещений нижние пояса стропильных ферм оказываются сжатыми усилиями, иногда превышающими критические силы потери устойчивости.

3. Неразрезность стропильных конструкций. В поперечных рамах каркаса ОПЗ, имеющих два и более пролетов и выполненных по неразрезной схеме, элементы нижних поясов стропильных ферм, примыкающие к средним колоннам, работают на сжатие под влиянием опорных изгибающих моментов.

Иногда к фактической неразрезности ригелей поперечных рам, спроектированных разрезными, делают конструктивные отступления в проекте, допускаемые при изготовлении и монтаже. Приведем примеры таких конструктивных отступлений:

- фактическое отсутствие зазоров между элементами, предусмотренных при проектировании для обеспечения податливости соединения ригелей с колоннами;
- увеличение толщины фланцев в узлах фланцевого типа, "шарнирная" проектная схема которых должна обеспечиваться податливостью гибкого, тонкого фланца [2];
- скрепление верхних поясов смежных ферм распорками или планками, временно поставленными для удобства монтажа и не разрезанными после окончания работ.

Отдельно выделим вопрос о "неявной" неразрезности стропильных конструкций, когда разрезная схема, намеченная в проекте, реализована без отступлений. Такой случай связан с конструктивным замыканием верхних поясов соседних ферм настилом покрытия. Для оценки влияния такой конструктивной особенности поперечных рам каркаса ОПЗ, которая при проектировании обычно не учитывается, приведем результаты численного эксперимента на расчетной модели трехпролетной рамы (сталелитейный цех завода "Красный Октябрь" в г.Харькове) (рис.2).

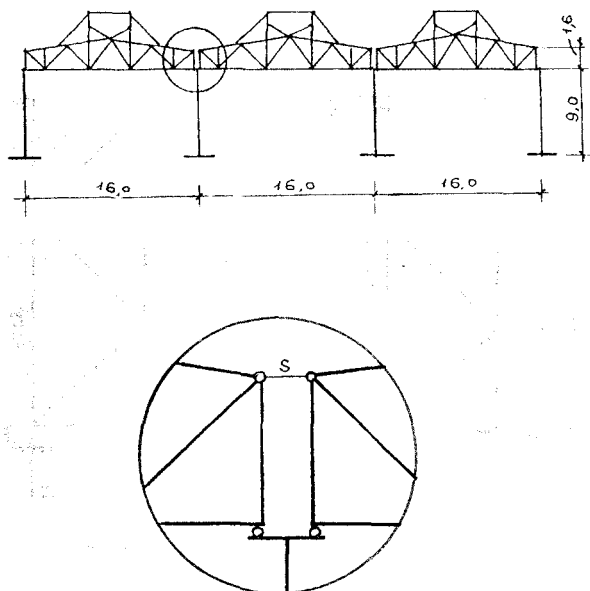


Рис.2

Расчеты выполняли с использованием программного обеспечения [5] при таких допущениях:

1. Конструктивно фермы-ригели опираются на колонны таким образом, что на расчетной модели этот узел может быть показан как неподвижный шарнир;
2. Усилия в элементах рамы определяли от суммарного воздействия постоянной и снеговой нагрузок;
3. Кровельный настил (стальной профилированный лист) соединен над средними колоннами рамы таким образом, что фермы-ригели соседних пролетов могут считаться объединенными в уровне верхних поясов упруго-податливыми связями; на расчетной модели эти связи представлены как шарнирно-стержневые (стержень "S" на рис.2, б).

Расчеты сделаны для вариантов этой рамы, отличающихся различной жесткостью связи S , которая в зависимости от жесткости соединения элементов настила над промежуточными опорами рамы может изменяться в широких пределах:

$$EA_0 \leq EAs \leq EA_{\text{вп}}$$

где $EA_0 = 0$, т.е. связь отсутствует; $EA_{\text{вп}}$ – жесткость связи, эквивалентная жесткости верхних поясов ферм.

Результаты расчетов приведены в таблице. В ней указаны значения усилий в наиболее ответственных элементах и для трех вариантов рамной системы, наиболее интересных для анализа. В столбце 5 приведены для сравнения усилия в тех же элементах, но в системе с жесткими узлами, неразрезной согласно проекту.

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Введение в расчетную модель надопорной стержневой упругой связи, учитывающей фактическую связь смежных стропильных ферм через кровельный диск, создает частичную неразрезность ригельной системы поперечных конструкций каркаса, что приводит к соответствующему распределению усилий – разгрузке поясов ферм и увеличению усилий в приопорных элементах решетки. При этом в крайних элементах нижних поясов у средних колонн возникают сжимающие усилия, достигающие опасных значений уже при жесткости опорной связи, в 10 раз меньшей, чем жесткость верхних поясов ферм.
2. Путем установки и изменения жесткости надопорной стержневой связи можно осуществить искусственное регулирование усилий в стропильных конструкциях, находящихся в эксплуатации. Так, повышением жесткости таких связей можно усилить наиболее на-

пряженные элементы поясов ферм. Но такое усиление будет целесообразным только при наличии запасов несущей способности в крайних панелях нижних поясов и в элементах решетки, расположенных у средних опор.

Элементы ригелей рамы		Усилия (кН) при жесткости продольных связей			Неразрезная система (рама с жесткими узлами)
		$EAs=0$	$EAs=0,1 \times E_{Avп}$	$EAs=E_{Avп}$	
1		2	3	4	5
КРАЙНИЙ ПРОЛЕТ	I Верхний пояс				
	1) у крайней опоры	-96,0	-90,0	-86,0	-90,0
	2) в пролете (max)	-128,0	-119,0	-113,0	-135,0
	3) у средней опоры	-90,0	-48,0	-24,0	-55,0
	II Нижний пояс				
	1) у крайней опоры	-2,0	-0,7	-0,1	-50,0
	2) в пролете	120,0	112,0	108,0	120,0
	3) у средней опоры	-2,0	-65,0	-100,0	-120,0
	III Опорные раскосы				
	1) у <i>крайней опоры</i>				
	1.1) первый нисходящий	107,0	100,0	97,0	125
	1.2) второй восходящий	-40,0	-35,0	-32,0	-49,0
	2) у <i>средней опоры</i>				
2.1) первый нисходящий	103,0	129,0	145,0	165,0	
2.2) второй восходящий	-43,0	-62,0	-72,0	-73,0	
СРЕДНИЙ ПРОЛЕТ	I Верхний пояс				
	1) у опоры	-90,0	-41,0	-14,0	-43,0
	2) в пролете	-126,0	-99,0	-84,0	-112,0
	II Нижний пояс				
	1) у опоры	-4,0	-66,0	-100,0	-125,0
	2) в пролете	114,0	80,0	70,0	105,0
	III Опорные раскосы				
	1) первый нисходящий	102,0	120,0	133,0	160,0
2) второй восходящий	-42,0	-56,0	-65,0	-70,0	
Усилие N_s		0,0	65,0	100,0	

Отмеченные выше обстоятельства работы ферм-ригелей поперечных рам ОПЗ нужно учитывать при составлении расчетных моделей этих конструкций.

При использовании варианта расчетной модели с упругими надопорными стержневыми связями важным является вопрос об определении осевой жесткости последних. Решение этого вопроса для учета "неявной" неразрезности ригелей рам, имеющих два и более пролета, можно получить, если известна жесткость кровельного диска на сдвиг [4].

При оценке надежности, когда нужно учесть конструктивные

отступления от проекта в соединениях основных элементов рамы и их влияние на перераспределение усилий, это можно сделать с помощью натуральных испытаний, методика которых описана в [3].

В практике обследования технического состояния поперечных конструкций стального каркаса ОПЗ и анализа выявленных повреждений встречаются случаи, когда очевидная (явная) как будто неразрезность стропильных ферм не подтверждается их действительной работой. Приведем пример такой конструкции.

Ригелем поперечной рамы механозаготовительного цеха на Приднепровском заводе стрелочных переводов (г.Днепропетровск) является двухпролетная ферма, схема которой показана на рис.3. При обследовании технического состояния конструкций цеха был выявлен дефект (или повреждение) одного из элементов нижнего пояса, расположенного у средней опоры (рис.3.а) – искривление в плоскости фермы со стрелой прогиба 140 мм.

Естественным было первоначальное мнение о том, что такой дефект очень опасен, так как обнаружен в стержне, работающем на сжатие согласно неразрезной расчетной схеме. Однако изучение конструкции фермы выявило некоторые особенности соединения ее элементов, которые заставили пересмотреть расчетную модель и в конечном итоге позволили отказаться от усиления. Особенности эти следующие. Фермы сделаны на заводе в виде двух отправных марок (полуферм) длиной по 14,2 м каждая. Заводские соединения элементов – на сварке. На монтаже полуфермы были объединены с помощью Т-образных вставок (см. рис.3.а). Монтажные соединения выполнены на черных болтах диаметром 20 мм. С одной стороны, Т-образная вставка из четырех стержней и монтажные соединения над средней опорой обеспечивают определенную неразрезность и внешнюю статическую неопределимость фермы. Поэтому можно было предположить распределение усилий с появлением сжатия в средних панелях нижнего пояса. С другой стороны, податливость названных монтажных соединений, выполняемых с помощью гибких фасонки и черных болтов, а также малая жесткость соединительных стержней дают возможность предположить лишь частичную неразрезность ферм над средней опорой. Для проверки этого предположения был проведен анализ усилий в элементах фермы на расчетной схеме, учитывающей указанные особенности конструкции.

Уточненная расчетная модель показана на рис.3.б. Она имеет следующие отличия (по сравнению с обычной шарнирно-стержневой системой на трех опорах):

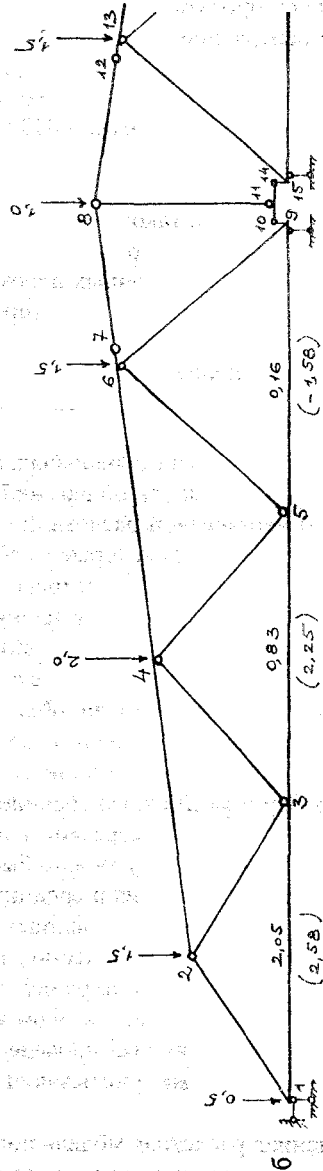
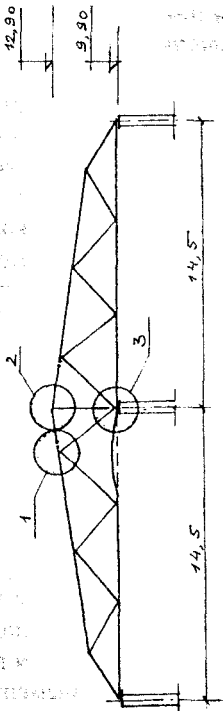


Рис.3

- пояса фермы, там где они не имеют стыков, представлены неразрезными стержнями; места перелома верхнего пояса, где эти стержни разрезаны и соединены с помощью фасонки на сварке (узлы 2, 17), а также места монтажных стыков, выполненных с помощью фасонки и болтов (узлы 7, 8 и 12), моделируются шарнирными узлами; узлы крепления элементов решетки к поясам, которое конструктивно осуществлено на гибких фасонках, тоже приняты шарнирными;
- шарнирные узлы 2, 8 и 17 закреплены связями от поворота, что соответствует их фактической работе, учитывая установленные здесь прогоны; узлы 7 и 12 такого закрепления не имеют;
- нижний центральный узел 3 (рис.4) на расчетной модели представлен таким образом, что стержень 10-14, соединяющий две полуфермы на средней опоре, прикреплен к опорным узлам 9 и 15 стержнями малой жесткости, схематизирующими работу фасонки, к которым стержень 10-14 крепится шарнирно на болтах;
- опорные стержневые связи расставлены в соответствии с болтовым креплением фермы к колоннам (опирание выполнено через базовые плиты из стальных листов, а крепление – через закладные болты).

Жесткостные характеристики элементов ферм определены в соответствии с обмерами и сортаментом прокатной стали по ОСТ 14 (1939-40 гг.).

Распределение усилий в стержнях этой комбинированной системы показано на рис.3,б (в скобках указаны усилия, полученные по упрощенной расчетной схеме – шарнирно-стержневой двухпролетной неразрезной системе). Они характеризуют такую работу фермы-ригеля поперечной рамы каркаса цеха, которую можно определить как неполную (частичную) неразрезность. Весь нижний пояс работает на растяжение, усилия в его центральных панелях близки к нулевым, но знака не меняют (на упрощенной схеме они сжаты значительными силами). Поэтому был сделан вывод, что искривление стержня 5-9 можно считать случайным (от случайного воздействия), тем более, что оно имело место только в одной поперечной раме.

Примеры выявления и анализа факторов, объясняющих опасные и неопасные повреждения конструкций, приведенные в этой работе, являются также примерами несостоятельности привычных упрощенных расчетных схем и необходимости перехода (для объективного анализа несущей способности) к уточненным нестандартным расчетным моделям, которые формируются на основе действительной работы кон-

трукций и с учетом возможностей современных вычислительных средств.

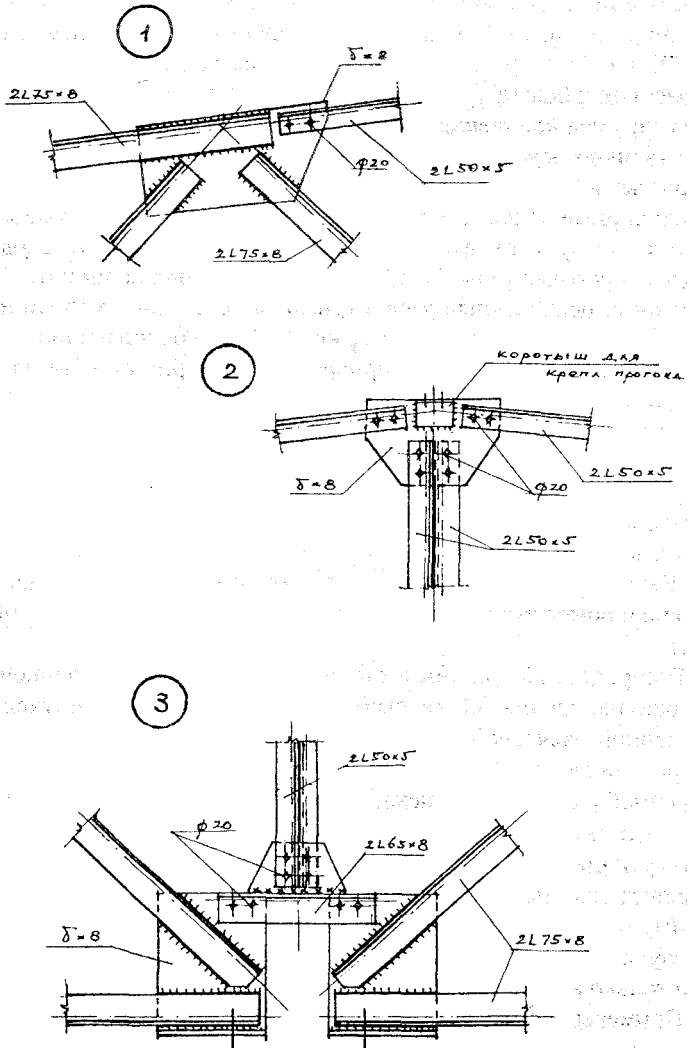


Рис.4

1.Ермак Е.М. Уточнение расчетных предпосылок для оценки эксплуатационной

надежности строительных конструкций // Сб. науч. трудов. Вып.870. – М.: МИИТ, 1992. – С. 78-85.

2.Конаков А.И. Учет особенностей действительной работы ферм покрытий при оценке их несущей способности и усилении с изменением расчетных схем // Тез. докл. Всеукраинского семинара "Индустриальные технические решения при реконструкции зданий и сооружений промышленных предприятий". – К., 1986. – С.43.

3.Ермак Е.М. Уточнение жесткости опорных и узловых связей рамных конструкций на основе натурных испытаний // Сб. науч. трудов. Вып.21. – Харьков: ХИИТ, 1993. – С. 3-13.

4.Ермак Е.М., Кириченко М.А., Семснец Г.И. Анализ работы поперечных рам стального каркаса промышленных зданий при локальных воздействиях // Сб. науч. трудов. Вып.26. – Харьков: ХарГАЖТ, 1996. – С. 30-43.

5.Программа "РАКЕТ" для персональных ЭВМ. – К.: УкрНИИПСК, 1989.

Получено 23.08.2000

УДК 666.982.2

М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук, С.Я.СЕРИКОВ
Харьковская государственная академия городского хозяйства

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА БЕТОНА В ИЗДЕЛИЯХ

Рассматривается направление решения задачи обеспечения гарантированной прочности бетона в изделиях на основе моделирования технологических взаимосвязей и ведения технологического процесса ультразвуковым импульсным методом.

Задача обеспечения гарантированной прочности бетона в изделиях требует оперативного управления процессом изготовления, которое можно осуществить при наличии функциональной связи между конечной характеристикой бетона и технологическими режимами. Как известно, технология производства бетонных и железобетонных изделий относится к классу диффузионных процессов, в которых протекание процесса формирования прочности и влияние каждого технологического фактора не поддаются функциональному описанию. Таким образом, получение строгого математического описания технологического процесса на основе происходящих при этом физико-химических процессов является затруднительным. Сложность решения этой задачи усугубляется также необходимостью учета влияния на конечную прочность бетона большого числа технологических факторов.

Это вызывает необходимость экспериментального поиска оптимальных (или хотя бы эффективных) условий (значений факторов) технологического процесса и не позволяет непосредственно решить задачу оперативного управления качеством изделий, достижения стабильности прочностных свойств бетона. Как известно, задача формализации взаимосвязей в технологических процессах такого вида эф-