

пределом прочности при сжатии при 50 °С, а принятый режим уплотнения обеспечивает требуемый нормативными документами коэффициент уплотнения покрытия из асфальтобетонных смесей на основе БПВ.

Таблица 4 – Физико-механические свойства асфальтобетонов, взятых из покрытия

Наименование показателей свойств	Номер вырубки								Требования ГОСТ 9128-84 к асфальтобетонам (тип Б) I марки для IV ДКЗ
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Средняя плотность, кг/м ³	2320	2380	2370	2385	2380	2370	2375	2390	-
Водонасыщение, %	5,4	1,7	3,1	1,4	2,1	2,2	1,7	2,0	2,5 - 6,0
Набухание, %	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	не более 0,5
Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре, °С:									
20	5,2	6,2	6,4	6,2	5,4	6,1	5,7	6,5	не менее 2,5
50	2,3	3,1	3,6	2,4	2,4	2,5	2,7	3,7	не менее 1,3
Коэффициент водостойкости	0,96	1,0	1,0	0,93	1,0	0,97	1,0	0,90	не менее 0,85
Коэффициент длительной водостойкости	0,75	0,81	0,79	0,77	0,76	0,78	0,79	0,81	не менее 0,75
Коэффициент уплотнения	0,97	0,98	0,98	0,99	1,0	0,99	1,0	1,0	не менее 0,98

Получено 22.05.2002

УДК 624.014.7

Е.М.ЕРМАК, канд. техн. наук

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА "ЖЕСТКОСТИ" УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНОГО КАРКАСА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Излагается методика и приводятся результаты тензометрических исследований конструкций стального каркаса производственных зданий для уточнения характеристик упругого защемления элементов каркаса в узлах сопряжения.

В общем случае оценки эксплуатационной пригодности конструкций цеховых зданий необходимо уточнять расчетные предпосылки в отношении моделирования узловых связей, которые являются регуляторами усилий в статически неопределимой системе каркаса.

Известно, что традиционное представление таких связей на расчетных схемах в виде «заделок» или «шарниров» можно рассматривать лишь как предельные идеализированные характеристики. В исследованиях, отнесенных к середине прошлого века, отмечалось, что жесткие фланцевые соединения ригелей и колонн поперечных рам каркаса производственных зданий «обеспечивают» реактивные изгибающие моменты в пределах 40-80% от величин таких усилий в «заделках» [1], а облегченные прикрепления стропильных ферм к средним колоннам каркаса, которые обычно моделировались на расчетных схемах шарнирными узлами, «берут на себя» изгибающие моменты, достигающие 60-70% от момента жесткого защемления [2].

В эксплуатируемых «крановых» цеховых зданиях встречаются различные конструктивные решения как для «шарнирного», так и для «жесткого» вариантов идеализированного представления рамных узлов на расчетной схеме.

В течение прошлого века рекомендованные для проектирования конструкции «рамных» узлов менялись не раз. Очевидно, это было связано также с тем обстоятельством, что не было полной уверенности в четкой работе элементов таких узлов адекватно расчетным моделям.

Следует отметить, что теоретическое определение фактических параметров упругой податливости узловых сопряжений является трудоемкой задачей, поскольку решение ее связано с рассмотрением и описанием сложного пространственного характера напряженного состояния в зоне узлов а также – с учетом упругих деформаций соединительных элементов и деталей соединения – болтов, фасонки, фланцев [3].

Еще более неопределенной является задача теоретического определения характеристик узловых связей при оценке несущей способности элементов каркаса и их соединений в условиях эксплуатации. Опыт обследования таких сооружений показывает, что в этом случае нужно учитывать вероятность снижения жесткости узлов в процессе постепенного износа – из-за ослаблений болтовых соединений (сдвиги, обмятие отверстий, перекося или изгиб болтов), деформаций фланцев и накладных пластин, дефектов сварных швов, коррозии и других трудноучитываемых факторов, имеющих случайную природу.

Принимая во внимание отмеченное выше, полагаем, что достаточно достоверную информацию о фактической жесткости (или упру-

гой податливости) узловых связей можно получить только из опыта, путем проведения натуральных испытаний исследуемых конструкций.

До изложения методики таких испытаний введем основные допущения.

1. Жесткость «рамного» узла будем оценивать по степени взаимного защемления колонны и ригеля, иначе, по величине изгибающего момента в узле от соответствующего воздействия.

Узел будем считать жестким, если измерения определили величину изгибающего момента, равную теоретической, полученной на расчетной модели с абсолютно жесткими «узловыми» связями. Уменьшение фактического усилия, по сравнению с указанной расчетной величиной, свидетельствует о некоторой податливости узловых связей. Если, согласно измерениям, изгибающий момент в узле оказывается равным или близким к нулю, то узел считается «шарнирным».

Жесткость узла можно оценивать также по величине искажения прямого (или другого, заданного по проекту) угла между ригелем и колонной, которое обусловлено деформациями стержней фермы – ригеля, полка колонны и, главным образом, деформациями элементов соединения (болтов, фасонки, фланцев). Но такой путь исследования значительно сложнее.

2. Жесткость узлов каркаса определяется от нагрузок, передаваемых на конструкции мостовыми кранами.

Показатели жесткости или податливости узлов зависят, в том числе и от характера нагружения. Они могут быть разными, например, при вертикальных и горизонтальных нагрузках, поскольку меняется характер работы соединительных элементов.

Обосновать правомерность данного допущения можно тем, что крановая нагрузка (от веса крана с грузом) является наиболее удобной для постановки натурального эксперимента и наиболее значимой для обеспечения надежности сооружений, которые получили название «крановых» цехов.

При проведении испытаний в цехе вопрос о фактической жесткости «рамных» узлов может уточняться по двум схемам: определение степени защемления колонны относительно ригеля, либо наоборот. В первом случае измеряются величины изгибающего момента в поперечном сечении колонны под нижним поясом фермы – ригеля, во втором – измеряются усилия в поясах фермы и элементах соединения ее с колонной. Из-за возможных неточностей измерений и влияния случайных факторов, нужно сделать то и другое. Результаты при правильной постановке эксперимента должны быть близкими.

При проведении обследования и натурных испытаний ряда «краевых» цехов, построенных в 60-70-е годы, нами определялись, в том числе, усилия, необходимые для суждения о фактической жесткости (упругой податливости) узлов сопряжения ригелей с колоннами поперечных рам каркаса.

Измерения проводились тензометрическим методом [6]. Расстановка тензодатчиков в узлах будет показана на рис.1, 2, 3, 4.

Заметим, что на всех объектах, кроме одного, работа узлов не отвечала принятым при проектировании предпосылкам.

Приведем далее результаты этих экспериментов и анализ причин указанного несоответствия.

Типовой «жесткий» узел

Объектом №1 испытаний назовем поперечную раму каркаса цеха балансировки роторов на производственном объединении «Харьковский турбинный завод». Согласно проекту, конструкция «рамных» узлов каркаса этого здания отвечает «жесткой» схеме и действующей в то время серии типовых решений [4].

Как известно, жесткость такого узла во многом зависит от деформативности соединения оголовка колонны с верхним поясом фермы – ригеля. Отсюда особое внимание к показателям датчиков №6 и №7 (рис.1), поставленных для измерения усилий в накладной пластине «С».

Измерения проведены при двух загрузках рамы испытательной нагрузкой:

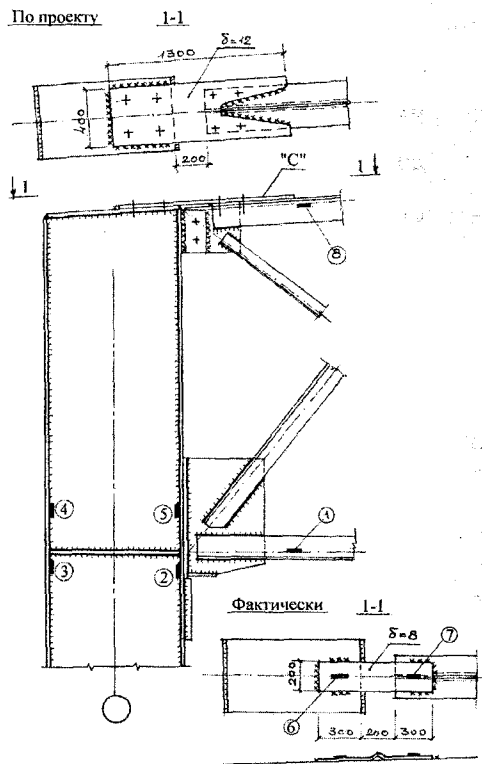


Рис.1

- сначала – от веса крана и грузовой тележки, установленных так, чтобы передать максимальное от этой нагрузки давление на объект испытаний (колонну ряда «А»): $D_{\max} = 490$ кН; $D_{\min} = 267$ кН;
- затем – с увеличением нагрузок при подъеме груза $Q = 370$ кН (вес ротора турбины) и повторением той же установки крана с тележкой; в этом случае: $D_{\max} = 770$ кН; $D_{\min} = 289$ кН.

Согласно расчетам, изгибающий момент в узле (в сечении колонны на уровне нижнего пояса фермы) получился:

- от первого нагружения $M_1^y = 37,5$ кН×м, соответственно продольное усилие в элементе «С» – $N_1^c = 17,0$ кН;
- от второго нагружения – $M_2^y = 54,0$ кН×м и $N_2^c = 24,5$ кН.

Показания же датчиков №1-8 (рис. 1), в том и другом случаях, были нулевыми. Это значит, что узловые связи не препятствуют взаимному повороту ригеля и колонны в плоскости поперечной рамы, т.е. узел работает не по жесткой, а по шарнирной схеме.

Для объяснения такого несоответствия теоретической и действительной работы рамного узла, нужно указать:

на ошибки монтажников:

- отступления от проектных размеров накладной пластины «С» и от проектных условий ее крепления на монтаже (рис. 1);

на неудачные проектные решения:

- недостаточная, для жесткого узла, высота фермы на опоре;
- недостаточная длина анкерочных устройств конструкции базы колонн каркаса (болтов и траверс);
- недостаточное количество связей между поперечными рамами;

и последствия этих ошибок:

- общая «зыбкость» каркаса в поперечном направлении;
- потеря местной устойчивости элементом «С» (рис. 1).

*Узел опирания фермы – ригеля на колонну сбоку
с устройством подвижной планки*

Это типовой узел [5], который используется при проектировании стальных каркасов ОПЗ как «шарнирное» соединение элементов поперечной рамы.

Конструктивно освобождение от защемления достигается податливостью (в горизонтальном направлении) элемента верхнего пояса в пределах крайней, приопорной панели. К колонне этот стержень кре-

пится через гибкую фасонку на двух черных болтах, а на втором его конце установлена подвижная планка (деталь «а» на рис.2). Благодаря этой детали усилие, передаваемое от колонны на верхний пояс фермы, погашается деформацией сдвига планки, а усилие, передаваемое от фермы на колонну, направляется через опорный раскос в узел крепления нижнего пояса.

Но такая схема работы элементов узла не реализуется, если исполнение идеи оказывается неточным.

Экспериментальная проверка работы «рамного» узла данного типа проведена на поперечной раме стального каркаса обогатительной фабрики (объект испытаний №2), строительство которой было связано с расширением горно-металлургического комбината в г.Тырныаузе.

Анализ результатов этих испытаний показал, что данный узел не работает по шарнирной схеме;

приборами зафиксированы изгибные напряжения от испытательной нагрузки в поперечном сечении колонны «1-1» (показания тензодатчиков №2-5: $\sigma_2 = \sigma_3 = -0,66 \text{ кН/см}^2$, $\sigma_4 = \sigma_5 = 0,33 \text{ кН/см}^2$) и соответствующее напряжение в верхнем поясе фермы-ригеля (датчики №10, 11: $\sigma_{10} = \sigma_{11} = 0,22 \text{ кН/см}^2$).

Детальным обследованием конструкций в зоне узла обнаружен все объясняющий дефект монтажа – подвижная планка «а» оказалась приваренной к элементу «б» (рис.2) лобовым швом и поэтому свое функциональное назначение не выполнила.

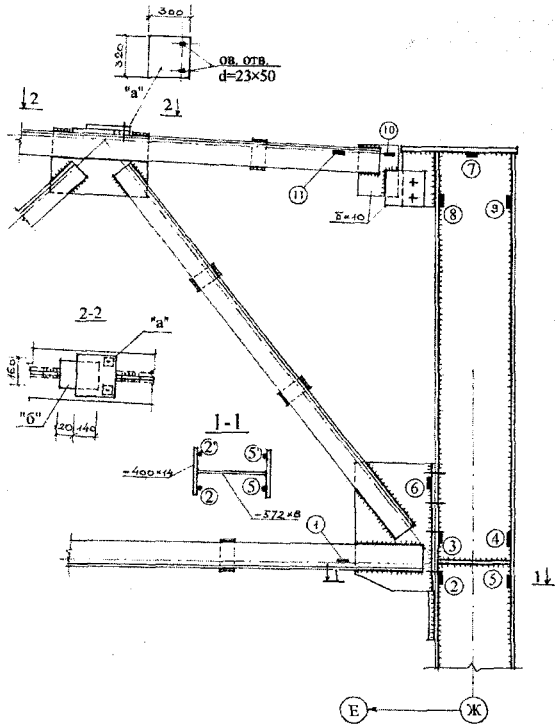


Рис.2

Результаты расчета поперечной рамы на уточненной расчетной модели [7] подтвердили работу данного узла по жесткой схеме. Усилия в колонне (сечение «1-1» на рис.2) и в верхнем поясе фермы – ригеля получились близкими к величинам, измеренным на испытаниях:

$$M_K^T = 28,4 \text{ кН}\cdot\text{м} \quad (M_K^Э = 23,3 \text{ кН}\cdot\text{м});$$

$$N_{в.п.}^T = 7,5 \text{ кН} \quad (N_{в.п.}^Э = 6,3 \text{ кН}).$$

Узел опирания фермы-ригеля на крайнюю колонну с выносной опорной стойкой

Такой узел (рис.3) на упрощенной расчетной схеме считается шарнирным.

По сравнению с типовым решением [5], конструкция данного «рамного» узла на объекте испытаний №3 (каркас экспериментально-лабораторного корпуса института трансформаторостроения в г.Запорожье) имеет некоторые отличия:

- в болтовом соединении верхнего пояса фермы-ригеля с выносной стойкой вместо овальных, в горизонтальном направлении, отверстий сделаны круглые – под «черные»

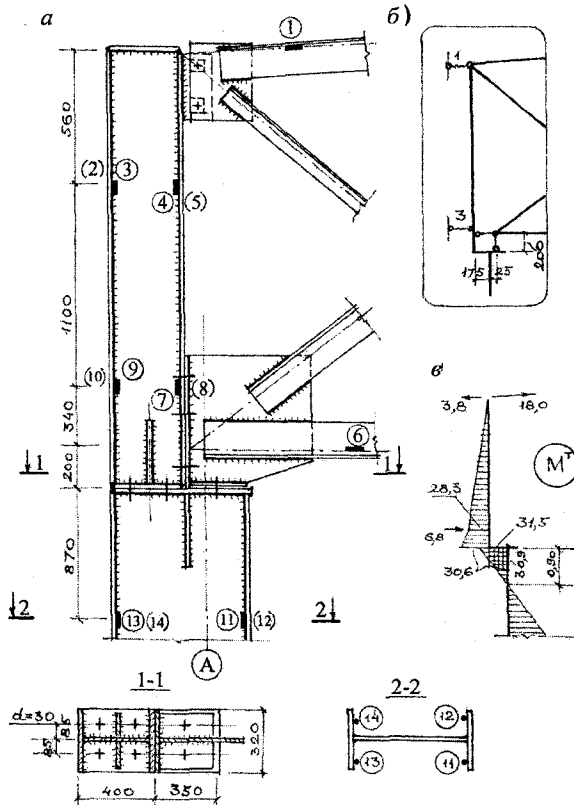


Рис.3
а - конструкция узла; б - представление на расчетной модели;
в - распределение изгибающих моментов

болты;

- соединение выносной стойки с надкрановым элементом колонны каркаса выполнено более жестким (на 4-х болтах).

Испытательной нагрузкой был вес мостового крана грузоподъемностью $Q = 200/30$ т, установленного симметрично относительно оси поперечной рамы (вес моста $Q_M = 1873$ кН, вес грузовой тележки $Q_T = 648$ кН и расстояние ее установки до оси «А» – 5,0 м).

Результаты измерения напряжений при предварительном анализе, приводили к противоречивой оценке жесткости узла. С одной стороны, отсутствие изгибных напряжений в подкрановом элементе колонны (сечение 2-2), вроде бы, подтверждает работу узла по шарнирной схеме. С другой – наличие таких напряжений в двух поперечных сечениях выносной стойки (показания датчиков №2-10) и растягивающего усилия в верхнем поясе стропильной фермы (датчик №1) свидетельствуют об упругом защемлении элементов рамы в узле.

Определение усилий от испытательной и постоянной нагрузок на расчетной модели дает возможность объяснить указанное противоречие и сделать вывод о работе узловых связей как упругой заделки.

В частности, этот расчет показал, что:

- изгибающий момент в оголовке надкрановой части колонны (вблизи узла) есть: $M_0^T = 31,5$ кН×м, а сечение 2-2, как оказалось, практически проходит через нулевую точку эпюры изгибающих моментов от испытательной нагрузки (см. эпюру M^T на рис.3,б);
- теоретические величины изгибающих моментов в выносной стойке и усилия в верхнем поясе ригеля получились больше экспериментально установленных (в пределах 10-15%), очевидно, из-за принятой на схеме (рис.3,б) абсолютной жесткости стыка этой стойки с колонной, что, наверное, не обеспечивается болтовым соединением.

Узел опирания фермы-ригеля на оголовки колонны крайнего ряда

При опирании стропильной фермы на колонну «сверху» и креплении (в уровне нижнего пояса) на болтах (рис.4) «рамный» узел считается не закрепленным от поворота и на расчетной схеме моделируется неполным шарниром.

Это подтвердилось при проведении натурного эксперимента на объекте испытаний №4 – двухпролетная (2×30,0 м) поперечная рама каркаса сборочного цеха ПО «Запорожтрансформатор».

Следует отметить, что опорная стойка фермы-ригеля, выполненная из прокатного двутавра №36, установлена так, что в плоскости ра-

мы имеет наименьшую изгибную жесткость.

При испытательной нагрузке от двух мостовых кранов грузоподъемностью $Q = 200/30\text{т}$ показания всех тензодатчиков, установленных на элементы вблизи узла, оказались нулевыми.

Расчет данной поперечной рамы показал, что учет эффекта пространственной работы и моделирование болтового соединения колонны с опорной стойкой жесткой связью приводит к некоторому защемлению элементов рамы в узле, но не существенному для оцен-

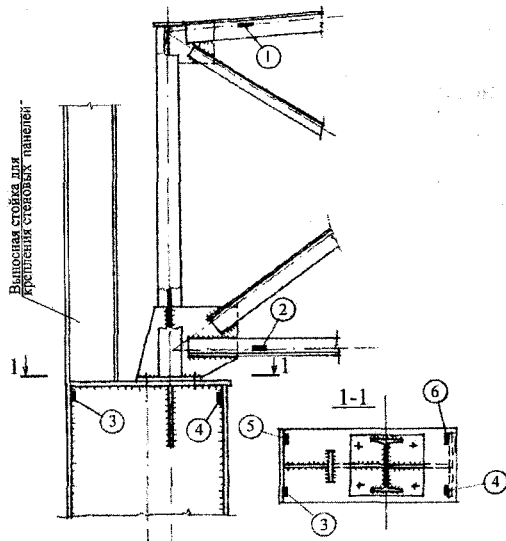


Рис.4

ки надежности – изгибающий момент в оголовочном поперечном сечении колонны всего 0,8 кН.

Таким образом, испытания подтвердили, что работа элементов каркаса в типовых конструкциях «рамных» узлов может, по тем или иным причинам, существенно отличаться от упрощенных расчетных предположений. «Рамные» узлы с опиранием ригеля поперечной рамы на колонны «сверху» и соединением «на болтах» отвечают своей работой проектному решению, обеспечивая податливость элементов в узле при поворотах. Такое соответствие работы «безмоментных» узлов расчетным предпосылкам дает право считать их более надежными связями основных несущих элементов каркаса, чем узлы, выполненные по жесткой схеме, и отдавать им предпочтение, если поперечная жесткость каркаса обеспечена [7].

Приходится отметить, что при проведении натурного эксперимента испытательная нагрузка, как правило, бывает значительно меньше расчетной (по проекту), из-за чего измеряемые напряжения приборами данной чувствительности (АИД, ЦТМ) фиксируются недостаточно четко, и испытания приходится повторять.

Поэтому целесообразно совмещение статических испытаний по

данной методике с динамическими и обоснованием параметров упругого защемления элементов каркаса в узлах на основе статистического анализа [8].

1. Шапиро Г.А. Действительная работа стальных конструкций промышленных цехов. – М.-Л., 1952. – 287 с.

2. Беленя Е.И. Пути снижения расхода стали в стальных каркасах ОПЗ в результате экспериментальных и теоретических исследований их действительной работы // Сб. "Экономия металла при применении стальных конструкций". – М., 1958. – С. 22-36.

3. Ренский А.Б. Деформативность и прочность фланцевых сопряжений ферм с колоннами в стальных каркасах производственных зданий // Сб. научных трудов МИСИ. Вып. 22. – М., 1953. – С. 16-58.

4. Серия 1.400-10/76. Типовые узлы стальных конструкций одноэтажных производственных зданий.

5. Серия 1.460-2/76. Стальные конструкции покрытий производственных зданий с применением железобетонных плит.

6. Долидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений. – М.: Высшая школа, 1975. – 249 с.

7. Ермак Е.М., Кириченко М.А., Семенец Г.Л. Анализ работы поперечных рам стального каркаса промышленных зданий при локальных воздействиях // Межвуз. сб. науч. тр. «Создание новых композиционных материалов, повышение эксплуатационной надежности и сроков службы конструкций и сооружений на ж.д. транспорте» Вып. 26. – Харьков: ХарГАЖТ, 1996. – С. 30-43.

8. Ермак Е.М. Уточнение жесткости опорных и узловых связей рамных конструкций на основе натурных испытаний // Межвуз. сб. науч. трудов «Вопросы обеспечения экономичности и эксплуатационной надежности конструкций транспортных сооружений». Вып. 21. – Харьков: ХИИТ, 1993. – С. 3-13.

Получено 17.05.2002

УДК 624.131

А.Г.РУДЬ, И.А.РУДЬ, кандидаты техн. наук
Харьковская государственная академия городского хозяйства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЛЯНЫХ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Рассматриваются особенности расчета устойчивости земляных откосов и склонов с помощью ЭВМ по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения.

Проектирование откосов в выемках и насыпях неразрывно связано с определением их устойчивости. Ошибки при проектировании откосов приводят к оползневым явлениям в виде смещения земляных масс, нередко исчисляемых тысячами кубических метров грунта. Неустойчивыми могут оказаться и естественные склоны местности, в том числе на застроенных территориях. Оползневые явления наносят значительный ущерб городам и населенным пунктам, сельским хозяйствам, шоссейным и железным дорогам.