

Параллельный курс двух программ рисунка и живописи позволит последовательно и равномерно распределять академические задания, выполняемые в аудитории, и задания по декоративным преобразованиям традиционных форм и преобразованиям посредством компьютерных технологий, выполняемым студентами в рамках самостоятельной работы, между двумя дисциплинами (рисунки 2, 3).

Сложность восприятия некоторых положений теории рисунка отчасти компенсируются имеющимися в электронном методическом фонде Института архитектуры и дизайна примерами как рукотворных декоративных работ и графических преобразований, так и декоративных интерпретаций натуральных изображений, выполненных с помощью компьютерных графических программ.

«Каждая эпоха нуждается в собственном осмыслении, в собственном понимании самой себя, в собственных эстетических идеалах.

Конечно, в этом могут помочь великие и любимые нами произведения, созданные в прошлом. Но объяснить человека новой эпохи может только свежий и нынешний взгляд... Искусству будущего предстоит решить и совершенно новую задачу» [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боров, Ю.Б. Эстетика / Ю.Б. Боров, - М.: Политиздат, 1988. – С. 417-418.
2. Прохоров С.А., Шадури А.В. Живопись для архитекторов и дизайнеров / С.А. Прохоров, А.В. Шадури - Барнаул: АлтГТУ, 2008. – С. 5.
3. Боров, Ю.Б. Эстетика / Ю.Б. Боров, - М.: Политиздат, 1988. – С. 415-416.

Шадури А.В. – доцент, Институт архитектуры и дизайна Алтайского государственного технического университета, E-mail: schadurin@mail.ru.

УДК 624.014:72

КОРРЕКТИРОВКА УСИЛИЙ В АРХИТЕКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ ТЕРМОПОЛЗУЧЕСТИ

С.Д. Шафрай

В работе рассмотрено поведение неразрезной двухпролётной стальной стропильной балки, эксплуатируемой в составе каркаса находящегося на грунтах подверженных химическому пучению. Предложено, для снятия напряжений в балке, возникших от неравномерной осадки опор, временно превратить её в условно разрезную. Условная неразрезность осуществляется путем нагрева накладки в коньковом узле балки над средней опорой. Теоретически вычислена и экспериментально подтверждены значения допустимых неравномерных перемещений опор в таких балках.

Ключевые слова: неразрезные балки, термopolзучесть, неравномерные осадки опор, напряженно-деформированное состояние.

ВВЕДЕНИЕ

В промышленных зданиях в несущем каркасе обычно используют балочные (безраспорные) или рамные (распорные) системы. Балочные системы, более предпочтительны для сооружений, возводимых на пучинистых грунтах. На таких грунтах двухпролетные здания целесообразно перекрывать фермами или балками, работающими по разрезной схеме. Неразрезная схема балок покрытия целесообразна с точки зрения экономии материала и меньшей строительной высоты, но не приемлема из-за чувствительности к неравномерной осадки опор.

Настоящее исследование проведено на ОАО «САЯНСКИМ ПЛАСТ» и обусловлено

неконтролируемыми перемещениями колонн здания, перекрытого двухпролетными неразрезными балками, вызванных химическим пучением грунтов, вызванных аварийными протечками химреактивов.

Работа выполнялась в комплексе с геодезическим мониторингом деформаций оснований фундаментов.

Целью работы является: отработка конструктивно – технологического приема - приведение неразрезной балки в 2-х пролетную условно разрезную, статически определенную посредством термического воздействия на средний узел опирания и развития в нем обширной ползучести с образованием «шарнира пластичности» и условным «обну-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №4-1 2013

лением” напряжений в элементах балки, полученных от неравномерных вертикальных смещений опор.

Под условным «обнулением» напряжений подразумевается - снижение напряжений в элементах балки, полученных от смещения опор. В последующем состоянии после охлаждения металла балка работает по неразрезной схеме.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРКАСА ЗДАНИЯ

Корпус образован двухпролетными рамами 2×24 м с переменной высотой ригеля до верха покрытия и имеет в плане размеры по осям 48,0×282,8 м.

Сечение колонн крайнего ряда состоит из сварного двутавра. Сечение колонн среднего ряда образованно из двух прокатных двутавров, объединенных общей стенкой. Шаг колонн – 12 м.

Геометрическая неизменяемость и устойчивость каркаса в продольном направлении обеспечивается вертикальными связями по колоннам, а в поперечном – жестким сопряжением колонн с фундаментами.

На колонны установлена неразрезная стальная стропильная двускатная балка длиной 48 м. По балкам выполнены металлические перфорированные прогоны длиной 12,0 м, на которые опираются металлические плиты покрытия, по верху которых выполнена кровля.

Объект исследования: неразрезная двухпролетная балка покрытия из стали

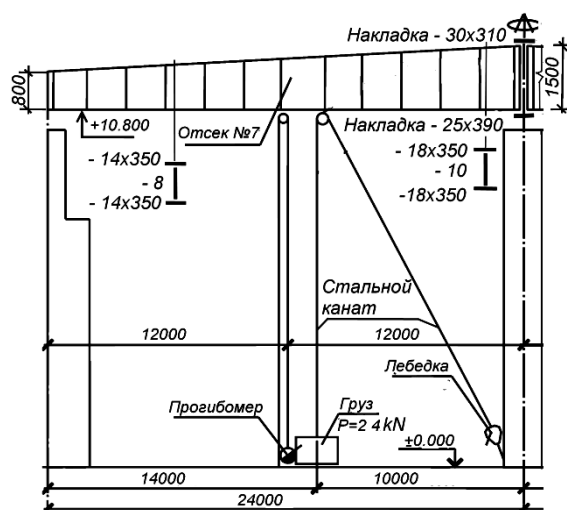


Рисунок 1 - Схема неразрезной стальной двухпролетной балки, отсеков для анализа НДС при испытании грузом $P = 2,4 \text{ kN}$

C245. Её поперечное сечение представлено двутавров переменной высоты. У парапета высота сечения балки составляет 800 мм, в коньке – 1500 мм, установлены поперечные ребра жесткости, которые разделяют балку на 12 отсеков.

Пояса и стенка балки выполнены из стальных листов различной толщины (рисунок 1).

Неразрезность балки обеспечивается постановкой на монтаже накладок на верхний и нижний её пояса в коньковом узле. Накладка выполняется из стальной пластины 30×310×1120 мм.

По проекту крепление накладки на верхний пояс должно осуществляться 4-мя сварными швами $k_f = 16 \text{ мм}$, $l_w = 480 \text{ мм}$. Фактически крепление накладки выполнено 4-мя сварными швами $k_f = 16 \text{ мм}$, $l_w = 290 \text{ мм}$ и 4-мя сварными швами $k_f = 6 \text{ мм}$, $l_w = 190 \text{ мм}$.

Таким образом, снижена несущая способность сварных швов крепления накладки, в связи, с чем приняты мероприятия по усилению конькового узла – установлены дополнительные накладки (к нижней грани верхнего пояса). Дополнительные накладки установлены после нагружения балки постоянной нагрузкой и включаются в работу только при воздействии на балку снеговой нагрузки (на момент эксперимента снеговая нагрузка отсутствует). Поэтому при нагреве верхней зоны балки в коньке принято решение срезать дополнительные накладки (рисунок 2). Опорные узлы балки шарнирные.



Рисунок 2 - Монтажное соединение неразрезной балки посредством накладок на средней колонне. Разрезка газом нижней накладки и расхождение стыка реза после нагрева верхней накладки

ОБЩИЕ ДАННЫЕ О РАСЧЕТЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (НДС) ЭЛЕМЕНТОВ БАЛКИ

Расчет балки осуществлялся в программно-вычислительном комплексе SCAD в упругой стадии работы материала на действие постоянных и временных нагрузок, перемещений опор балки в различных комбинациях с постоянными и временными нагрузками, тарировочным грузом $P = 24 \text{ kN}$ для сопоставления результатов экспериментальных и теоретических данных.

Определение НДС балки реализовано с учетом жесткости каркаса здания, фактических и геометрических её параметров, по неразрезной, условно разрезной расчетных схемах. Условно разрезная схема предполагала введение предельного по несущей способности сечения изгибающего момента в коньковом узле. Рассматривалась и расчетная схема, при которой балка превращается в разрезную, когда для снятия напряжений от неравномерного химического пучения грунта удаляются накладки на верхнем поясе балки в коньковом узле. Установлены нормальные, касательные и приведенные напряжения, а так же проведена проверка местной устойчивости каждого отсека стенки балки. Для сопоставления теоретических результатов с экспериментальными данными детально анализировался 7-й отсек балки (рисунок 1), как наиболее нагруженный.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ БАЛКИ

Расчетная модель балки представляет собой сетку из четырехугольных КЭ пластин. Средние размеры КЭ составляют $40 \times 40 \text{ мм}$. Таким образом, размеры КЭ максимально приближены к размерам тензорезисторов, которые использовались в натурном эксперименте.

В состав модели входят пояса, стенка и поперечные ребра жесткости балки. Элементы каркаса здания смоделированы пространственными стержнями. Общее число элементов расчетной схемы составляет 43285 штук. Определение постоянных нагрузок от существующих конструкций кровли и перекрытий проводилось на основании результатов натурного обследования с контрольными замерами сечений. Собственный вес металла балки учтен в SCAD. Нагрузка от смещения опоры приложена в программно-вычислительном комплексе SCAD в виде заданного перемещения узлов на необходимую величину в мм.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПОДЪЕМА КОЛОНН ОТ ПУЧИНИСТОСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

По данным геодезического мониторинга из-за неравномерной химической пучинистости грунтового основания наибольшее вертикальное перемещение наблюдается у средних колонн по отношению к крайним (рисунок 3). Вместе с тем перепад отметок колонн на момент монтажа балки не известен из-за отсутствия исполнительной схемы. Испытание проводилось на балке имеющей максимальное значение перепадов отметок.

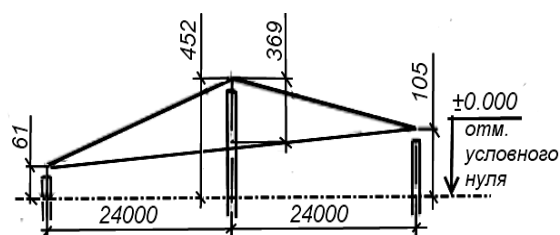


Рисунок 3 - Схема нивелировки нижнего пояса одной из балок (с максимальными перепадами отметок) перед испытанием

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Величина потенциальной энергии упругой деформации (ПЭУД) в разрезной балки состоит из энергий от деформирования постоянной и временной нагрузками, а в неразрезной дополнительно её от смещения опор. Энергия от смещения опор пропорциональна величине их перемещения. ПЭУД в обобщенном виде представляется выражением

$$W = \sum P_i f_i, \quad (1)$$

где P_i – обобщенная сила,
 f_i – перемещение (прогиб).

Определение фактического смещения опор основано на следующих условиях:

1. для разрезной балки (ПЭУД) складывается только от её деформирования постоянной и временной нагрузками.
2. для неразрезной балки (ПЭУД) складывается от её деформирования постоянной, временной нагрузками и неравномерным смещением опор.

Из условий 1 и 2 можно записать следующие выражения:

если смещение опор не учитывается, то

$$W_P - W_H = \Delta W_1, \quad (2)$$

и в противном случае

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №4-1 2013

$$W_P - W_H - W_C = \Delta W_2, \quad (3)$$

где W_P , W_H – ПЭУД от постоянной и временной нагрузок в момент испытания в разрезной и неразрезной балках соответственно, W_C – ПЭУД в неразрезной балке от смещения опор,

$\Delta W_1, \Delta W_2$ – разность ПЭУД между разрезной и неразрезной балками.

Величины ПЭУД W_P , W_H вследствие $P = \text{const}$, зависят только от прогибов и деформаций. В свою очередь деформации в упругой стадии работы балки линейно связаны с напряжениями. В этой связи выражения (2) и (3) можно преобразовать в следующий вид. Смещение опор не учитывается при условии

$$f_P - f_H = \Delta f_1, \quad (4)$$

с влиянием смещения опор

$$f_P - f_H - f_C = \Delta f_2, \quad (5)$$

где f_P , f_H – прогиб в разрезной и неразрезной балке от нагрузок соответственно;

f_C – прогиб в неразрезной балке от смещения опор;

$\Delta f_1, \Delta f_2$ – разность прогибов между разрезной и неразрезной балками.

Аналогично (4) и (5) можно записать и через напряжения

$$\sigma_P - \sigma_H = \Delta \sigma_1, \quad (6)$$

$$\sigma_P - \sigma_H - \sigma_C = \Delta \sigma_2. \quad (7)$$

f_P , σ_P и f_H , σ_H – определяются теоретически используя расчеты на ПЭВМ. f_C, σ_C – неизвестные величины, которые можно представить в виде

$$f_C = f_{C1} \cdot (f_X/1 \text{ мм}), \quad \sigma_C = \sigma_{C1} \cdot (f_X/1 \text{ мм}), \quad (8)$$

где f_{C1} , σ_{C1} – прогибы и напряжения в неразрезной балке от смещения средней опоры на величину в 1 мм.

Используя данные о величинах Δf_2 и $\Delta \sigma_2$, которые определяются экспериментальным путем из соотношений (5), (6) и (8) можно вычислить неизвестный прогиб f_X на средней опоре, что и было осуществлено в данной работе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Комплекс выполненных работ включает в себя три этапа: подготовительный этап; испытание балки грузами массой по 2,4 т; создание пластического шарнира в узле в на-

кладке верхнего пояса балки путем разогрева металла накладки. На подготовительном этапе были наклеены тензорезисторы ПКС-5-120, с единым коэффициентом тензочувствительности 2,14 и сопротивлением 121,0 Ом в отсеке 7 (рисунок 1) и накладки верхнего пояса в коньке. Установлены прогибомеры посередине каждого пролета и соответственно грузы $P = 24 \text{ кН}$, которые поднимались лебедками через блоки. До начала разогрева металла накладки верхнего пояса, с целью контроля величины и наличия пластических деформаций в накладке верхнего пояса во время разогрева металла, между стенками пролетов балки установлен датчик часового типа (рисунок 4). Контроль температуры металла накладки выполнялся лазерным термометром BALTECH TL-0215C. Начало процесса развития пластических деформаций контролировалось датчиком часового типа. При достижении металлом накладки уровня температуры 640-680°C, установлено снижение темпа нарастания пластических деформаций в накладке.

После непродолжительного выдерживания температуры накладки на этих температурах отмечено прекращение нарастания пластических деформаций в накладке. Далее произведен замер напряжений, прогибов и расхождения верхних поясов балки в коньковом узле. Момент нагрева накладки в коньковом узле представлен на рисунке 5.

Снижение несущей способности накладки достигается за счет развития в ней обширной ползучести при ее нагреве до температуры 650°C и как следствие приведение балки к условно разрезной статически определимой. Обширная ползучесть металла накладки обусловлена снижением предела текучести стали и ее временного сопротивления с увеличением температуры. Согласно [1] при температуре 650°C предел текучести стали составляет около 20% от значения предела

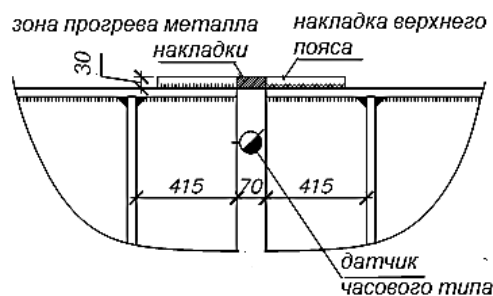


Рисунок 4 - Схема расположения датчика часового типа и зон нагрева металла накладки



Рисунок 5 - Нагрев газовыми горелками верхней пластины в коньковом узле

текучести при нормальных условиях, по этому в таких условиях из-за образования шарнира пластичности на средней опоре напряжения в балке от смещения опор будут стремиться к нулю.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Расчет балки на ПЭВМ по неразрезной схеме на полную расчётную нагрузку (без неравномерной осадки колонн) показал: несущая способность всех элементов **обеспечены**, а деформативность **не превышает** допустимых значений. Соответственно расчет по разрезной схеме показал: несущая способность элементов балки **не обеспечены**, а прогиб балки **превышает** на 36,75% допустимые значения.

В результате испытания балки грузами $P = 24 \text{ kN}$ определены напряжения и прогибы в середине пролетов. Величина прогибов составляет 5,41 мм и 5,12 мм в соответствующих пролетах, а их теоретические значения составляют – 5,6 мм. Напряжения (в характерных элементах балки отсека №7) полученные методами тензометрии от груза различались в среднем на 13% с теоретическими напряжениями полученными на ПЭВМ. Отклонение величины прогиба составляет 8,57%, что в свою очередь подтверждает высокую точность полученных результатов и пригодность теоретического расчета в целом. В процессе обширной ползучести произошло удлинение стальной накладки верхнего пояса в коньковом узле на величину 1,28 мм, а тео-

ретически определенное значение подобного удлинения составляет 0,82 мм (без учета смещения опор балки). Значительное расхождение (43%) свидетельствует о наличии смещения средней опоры по направлению вверх. Остаточные напряжения в металле накладки на момент окончания образования пластического шарнира не могут превышать значений предела текучести стали при соответствующей температуре (650°C), а их величина не выше 20% расчетного сопротивления стали при упругой работе ($\sigma_u = 2450 \text{ кг/см}^2$), что является приемлемым для дальнейшей эксплуатации балки.

ВЫВОДЫ

На основании данных полученных методами тензометрии в процессе исследования (НДС) и выполненных расчетов установлено, что величина смещения средней опоры балки на момент проведения мониторинга (действует нагрузка на балку только от собственного веса кровли) составила 25,12 см, по направлению вверх. Максимально допустимое относительное смещение средней опоры по направлению вверх (до образования пластического шарнира) по критерию прочности поясных листов при действии постоянных и временных нагрузок составляет 19,28 мм. Фактическое смещение средней опоры по направлению вверх превышает допустимые значения на 23,25%. При этом не происходит обрушение балки Б2 в связи с отсутствием снеговых нагрузок (на момент обследования), составляющих 60% от полного значения нагрузки.

Развитие пластических деформаций на средней опоре неразрезной балки в неконтролируемых условиях неравномерного смещения опор опасно тем, что в накладке может произойти «быстрое вязкое» - квазихрупкое разрушение обусловленное концентрацией напряжений во фланговых швах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Б. Бартелеми, Ж. Крюппа. - М.: Стройиздат, 1985. - 230 с.

Шафрай С.Д. – д.т.н., профессор, Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия; E-mail: shafray.sd@yandex.ru.