

Рис. 4. Эпюры усилий фрагментов А, А* и Б, Б* конструкции покрытия СК «Виктория»

УДК 624.012.45

Шалобыта Н.Н., Драган В.И., Шалобыта Т.П.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УЗЛОВ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ «БрГТУ»

Введение. В настоящее время в качестве несущих конструкций покрытий промышленных и общественных зданий сложной архитектурной формы или имеющих значительные пролеты широко применяются металлические решетчатые пространственные системы типа структурных плит. Конструктивные решения образования структурных плит отличаются большим многообразием. В мировой практике применения структур насчитывается около 130 различных систем, отличающихся прежде всего конструкцией узла сопряжения стержней [1, 2]. Именно узел сопряжения является наиболее сложным конструктивным элементом структуры, благодаря которому определяются главные особенности технологии изготовления и сборки конструкции. До настоящего времени оптимальное решение не найдено, поэтому в практике строительства соревнуются несколько вариантов соединений элементов в структурных конструкциях: на ванной сварке сплюснутых концов трубчатых стержней или на сварке со стандартными узловыми фасонками; на болтах, изготовленных штампованием или точным литьем, комбинированные узловые со-

единения, в которых сварка выполняется в заводских условиях, а сборка в построечных на болтах.

В данной статье приведены результаты экспериментального исследования при локальном статическом нагружении нового узлового элемента типа «БрГТУ», который представляет собой толстостенную сферическую оболочку. Узловой элемент относится к типу комбинированных [1, 2] и предназначен для соединения стержневых элементов поясов и решетки пространственных систем, выполненных из тонкостенных трубчатых профилей [3].

Узел типа «БрГТУ» выполнен в виде полого шара с отверстиями в стенке (рис. 1). Со стороны полости шара через отверстия пропущены высокопрочные болты с возможностью вкручивания в специальные гайки стержней. Между головками болтов и внутренней поверхностью шара, а также между силовыми гайками и наружной поверхностью шара, установлены шайбы со сферическими обращенными к шару поверхностями [3, 4]. Диаметр шара, толщина стен-

ки шара, диаметр болтов и класс прочности болтов назначается исходя из величины усилий, действующих в стержнях, используя принцип равнопрочности всех элементов рассматриваемого узла структуры. Подробное описание данного узлового элемента приводилось нами в работах [3, 4].

Применение нового узлового элемента потребовало научно обоснованных прочностных расчетов с учетом конструкционной прочности данного элемента и современных требований к надежности и долговечности службы в составе структурной плиты, влияния работы узлового элемента на общее напряженно-деформированное состояние конструкции. Основой оценки конструкционной прочности узла явилась его несущая способность, определенная в условиях, соответствующих реальным условиям эксплуатации.

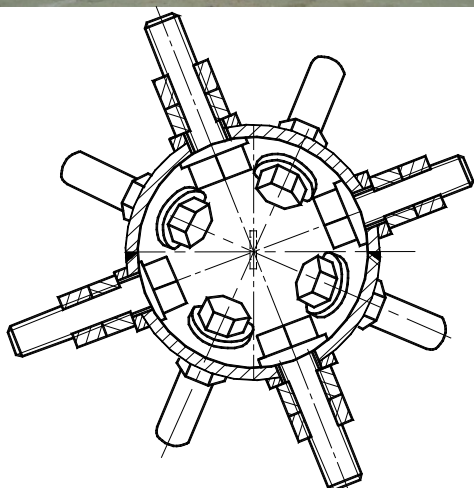


Рис. 1. Общий вид узловых элементов типа «БргТУ»

Теоретический анализ составляющих элементов комбинированного узлового элемента определил, что основной фактор, существенно влияющий на напряженно-деформированное состояние узлового элемента – является его геометрические размеры. Полый шар с отверстиями в стенке является, с точки зрения аналитического расчета, очень сложной системой, в которой напряженно-деформированное состояние зависит от многих факторов: толщины стенки и диаметра сферы, диаметра и мест расположения отверстий, характера приложения нагрузок и т.д. При этом принятая конструкция узла позволяет обеспечить высокую надежность работы.

Для исследования влияния размеров узлового элемента на его напряженно-деформированное состояние была проведена серия экспериментов узловых элементов типа «БргТУ», отличающихся диаметром и толщиной стенки. Испытывались три типа узлов: первый тип – наружный диаметр шара 160 мм, толщина стенки 10 мм, второй тип – наружный диаметр шара 212 мм, толщина стенки 16 мм, третий тип – наружный диаметр шара 208 мм, толщина стенки 14 мм. Статические испытания узлов при одноосном осесимметричном нагружении (растяжении или сжатии) производились на универсальной испытательной

машине ИР 5145-500 Ивановского ОАО «Точприбор», испытательном прессе на растяжение УМ-100 и испытательном прессе на сжатие П250. При этом испытания первого и третьего типов узловых элементов производились на ИР 5145-500, а испытания второго типа – на установках УМ-100 и П-250.

В процессе испытаний производились измерения относительных деформаций в вершинных (полюсных) точках сферы узлового элемента. Относительные деформации измеряли с помощью индикатора часового типа ИЧ - 0.001 (цена деления 0.001мм). Индикаторы часового типа закреплялись в продольном и поперечном направлениях по отношению к действующим усилиям, для измерения соответственно продольных и поперечных деформаций сферы. При этом устанавливалась пара индикаторов в каждом направлении, для исключения погрешностей измерений. Индикаторы закреплялись на экспериментальные образцы с помощью выносных металлических жестких кондукторов, находящихся в непосредственном контакте со сферой, для исключения влияния податливости и деформативности крепежных болтов узла. Статическую испытательную нагрузку прикладывали ступенями по 10 кН с регистрацией относительных деформаций на каждой ступени нагружения. Кроме данных измерений производилась параллельная автоматическая запись диаграммы деформирования узлового элемента. Общий вид испытаний на растяжение и сжатие узлового элемента локально приложенными осесимметричными нагрузками показаны на рис. 2.

а)



б)



Рис. 2. Общий вид испытаний узловых элементов в условиях осесимметричного нагружения: а) растяжения, б) сжатия

Экспериментальные диаграммы деформирования при осевом растяжении позволили определить общую деформативность узла, складывающуюся из деформаций сферы, высокопрочного болта, внутренних шайб с выпуклой поверхностью и захватов, имеющих поперечное сечение, приближенное к стержневым элементам структуры

системы «БрГТУ». В случае осевого сжатия были получены численные диаграммы деформирования только сферы узлового элемента, исключая другие элементы узла. Влиянием деформативности наружных шайб пренебрегаем в силу их незначительной величины.

В результате статистической обработки данных были построены обобщенные диаграммы деформирования узловых элементов трех типов работающих в условиях осевого растяжения и сжатия. Данные диаграммы представлены на рис. 3.

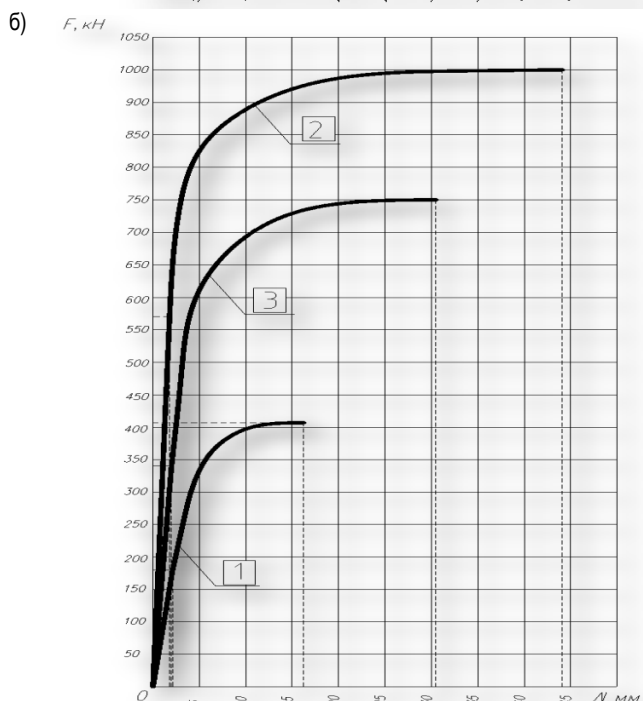
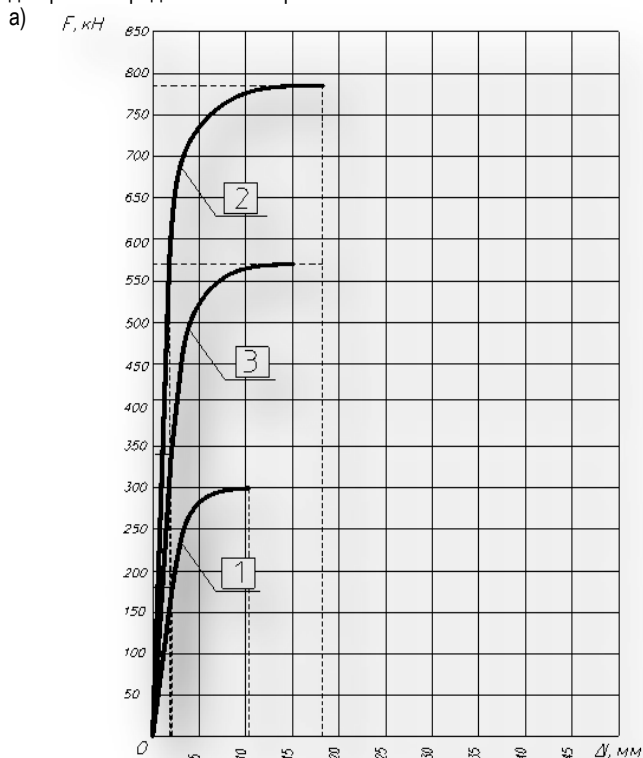


Рис. 3. Диаграммы деформирования шаров узлов системы «БрГТУ»: а – растяжение; б – сжатие; 1 – узловой элемент первого типа; 2 – узловой элемент второго типа; 3 – узловой элемент третьего типа

В процессе нагружения узлов осевыми растягивающими усилиями наблюдалась явно выраженная упругая работа сферы узлового элемента соответственно первого, второго и третьего типов при

нагрузках в пределах до 180 кН, 550 кН и 340 кН. При дальнейшем росте нагрузок наблюдалась упругопластическая работа материала сферы узлового элемента, о чем свидетельствует изменение угла наклона линии диаграммы деформирования, а также визуальное проявление изменений формы сферы узлового элемента. Пластическая деформация сферы проявлялась в виде выпучивания локального участка, расположенного за пределами шайбы болта, со значительным сокращением окружного диаметра, при этом общая геометрия сферы после наступления предельного состояния узла определялась как эллипс.

В случае нагружения осевыми сжимающими усилиями пластическое деформирование происходило в результате вдавливания наружных шайб в тело сферы. За критерий наступления предельного состояния узлового элемента при осевом сжатии были приняты напряжения, при которых происходило исчерпание упругих деформаций сферы узлового элемента. Аналогично, как и в случае осевого растяжения следует предположить, что предельное состояние поллой сферы носит локальный характер и происходит в результате наступления пластических деформаций стали на кольцевом участке за наружным диаметром шайб высокопрочных болтов сфер.

В результате проведенных испытаний на осевое растяжение установлено, что разделение узла на части по сварному шву или по материалу тела поллой сферы не происходит. Предельное состояние узла наступает в результате разрыва высокопрочного болта, через который происходит передача растягивающих усилий на сферу. Для всех испытаний серий узловых элементов получить разрушение высокопрочного болта, не удалось. Анализ диаграмм деформирования показывает, что предельное состояние узлов наступает при нагрузках, превышающих в 1.5 – 1.7 раза нагрузки, определяющие наступление предельного состояния материала поллой сферы, при котором появлялись локальные пластические деформации.

Результаты полученных экспериментальных данных диаграмм деформирования узловых соединений и диаграмм деформирования высокопрочных болтов позволили установить действительные деформативные характеристики узловых элементов, уровень упругих деформаций и соответствующий ему уровень нагрузки на узловой элемент. Для узлов 1 типа установлено, что максимальная величина упругих деформаций при растяжении составила не более 2,11 мм, при сжатии – 2,38 мм, при уровне нагрузки 180 кН; для узлов 2 типа максимальная величина упругих деформаций при растяжении не более 1,81 мм, при сжатии – 2,1 мм, при уровне нагрузки 550 кН; для узлов 3 типа максимальная величина упругих деформаций при растяжении составила 2,05 мм, при сжатии – 2,25 мм, при уровне нагрузки 340 кН.

Выводы. По результатам испытаний можно сделать выводы о напряженно-деформированном состоянии трех типов узлов «БрГТУ»: тип 1 – 160/10, тип 2 – 208/14, тип 3 – 212/16:

1. Разделение узла на части по сварному шву, по материалу тела поллой сферы, в том числе в местах концентраторов напряжений, в виде отверстий в сфере под высокопрочные болты, не происходит как при осесимметричном растяжении или сжатии, так и при многоосном нагружении узла всеми усилиями в примыкающих стержнях.
2. Предельное состояние узла наступает в результате значительного пластического деформирования поллой сферы при растяжении и сжатии. Разрыв болтов всегда наступает после того, когда исчерпается предельное состояние поллой сферы узлового элемента за счет чрезмерного развития в ней пластических деформаций.
3. Усилие при разрыве высокопрочного болта в 1.5 – 1.7 раза превышает усилие, приложенное к поллой сфере, при котором в ней начинают развиваться пластические деформации и наступает ее предельное состояние.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хисамов Р.И. Исследование, расчет и испытание металлических конструкций. - Казань, 1978.
2. Трофимов В.И., Бегун Г.Б. Структурные конструкции (исследование, расчет и проектирование). – М.: Стройиздат, 1972. – 272 с.
3. Драган В.И., Шалобыта Н.Н. К вопросу эффективности узлового соединения структурных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета – 2006. – №1(37): Строительство и архитектура. – С. 127-129.

4. Драган В.И., Шалобыта Н.Н. Экспериментальные исследования работы структурной конструкции с узловым соединением «БргТУ» // Сборник статей XIV международного научно-практического семинара «Перспективы развития новых техноло-

гий в строительстве и подготовке инженерных кадров республики Беларусь» (Минск, 22-23 июня 2006 г.) / Ред. Коллегия: Т.М. Пецольт, Н.П. Блещик, Э.И. Батяновский (отв. ред.). – Мн.: БНТУ. 2006. Том 2. – 284 с.: ил. – С. 133-138.

Материал поступил в редакцию 16.01.08

SHALOBYTA N.N., DRAGAN V.I., SHALOBYTA T.P. Experimental research of bearing ability of units of structural designs of system "BrGTU"

The methods of the determination happens to in article carrying abilities of the node element to structured design of the type "BrGTU". Given node element is executed in the manner of broad wall spherical shell, having holes in wall for gap highstrange connecting bolt. The Estimation to toughness in a general way with use molded the theories to bounce for such designs does not introduce possible so described in article experimental method has allowed to get the diagrams of deformation node element and with their help to define coming the limiting condition of the node.

УДК 624.014:621.792

Левчук А.А.

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С УТЕПЛИТЕЛЕМ ИЗ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ И ПЕНОПЛАСТА

Введение. Металлические бескаркасные панели с утеплителем из минераловатных плит и пенопласта нашли широкое применение при строительстве производственных, административных и общественных зданий. До 1998 года в Республике Беларусь не было собственного производства таких конструкций, поэтому их приходилось импортировать. В настоящее время налажен выпуск панелей на восьми предприятиях страны.

Основные конструктивные особенности выпускаемых в Республике Беларусь панелей следующие - обшивки стальные плоские или слабопрофилированные толщиной 0.45...0.55 мм; утеплитель изготовлен из минераловатных или пенополистирольных плит, являющихся анизотропными материалами; соединение среднего слоя и обшивок клеевое.

Используемые при проектировании зданий методики статического расчета трехслойных панелей бескаркасного типа с металлическими обшивками [1, 2] не в полной мере учитывают эти особенности и, кроме того, в них рассмотрен очень узкий класс задач со следующими ограничениями:

- внешние нагрузки могут быть только двух видов - равномерно распределенная по всей длине панели силовая и температурная с одинаковым перепадом на наружной и внутренней обшивках (перепад температур по всей длине панели одинаков);
- расчетная схема панели только равнопролетная (один, два или три пролета);
- крепление панели к несущим конструкциям жесткое из плоскости и допускает свободные деформации в плоскости панели.

Указанные выше ограничения не позволяют производить статический расчет конструкций по более сложным расчетным схемам (отличающиеся длины пролетов; нежесткое крепление панелей к ветровым ригелям, колоннам, стропильным конструкциям и др.) с учетом требований [3] по приложению нормируемых нагрузок (линейное изменение нагрузки в зоне расположения снеговых мешков для кровельных панелей или ветровой нагрузки по высоте для стеновых панелей; наличие силовой нагрузки не во всех пролетах; приложение сосредоточенных сил). При значительной длине панели (до 12 м) и наличии помещений с различным температурным режимом, для которых она является единой ограждающей конструкцией (например, холодильник и помещение для обслуживающего персонала) задача становится неразрешимой по существующим методикам [1, 2].

В связи с этим в [1] рекомендуется выполнять статический расчет трехслойных панелей численными методами, что позволяет снять практически все перечисленные выше ограничения.

Настоящая работа посвящена выбору оптимальной расчетной конечноэлементной модели трехслойных панелей с легким конструктивным средним слоем. В ней выполнено сравнение плоской и трехмерной моделей. Для оценки сходимости получаемых при использовании предлагаемой плоской модели параметров напряженно-деформированного состояния проведено их сравнение с ре-

зультатами расчета панелей по существующим методикам [1, 2] на "стандартных" расчетных схемах.

Выполнены численные исследования влияния анизотропных свойств среднего слоя на напряженно-деформированное состояние панелей.

1. Анализ существующих расчетных моделей трехслойных панелей. При определении внутренних усилий (напряжений) в обшивках и среднем слое, а также перемещений (деформаций) трехслойных панелей следует, в соответствии с [4], использовать расчетные модели, позволяющие учитывать:

- анизотропию материала среднего слоя (ортотропию для двумерной модели);
- локальное напряженно-деформированное состояние конструкций в местах приложения сосредоточенных нагрузок.

Для расчета трехслойных бескаркасных панелей с металлическими обшивками используются различные расчетные модели. Наиболее распространенные из них – плоская расчетная модель, применяемая в случаях цилиндрического изгиба конструкции, и трехмерная расчетная модель.

И трехмерная, и плоская модели имеют свои достоинства и недостатки. Обе модели позволяют учитывать анизотропию (ортотропию) материала среднего слоя, локальное напряженно-деформированное состояние конструкций в местах приложения сосредоточенных нагрузок, а также моделировать как плоские, так и профилированные обшивки панелей.

С целью сравнения трехмерной и плоской расчетных моделей был выполнен расчет однопролетной трехслойной панели с использованием каждой из этих моделей при следующих исходных данных: толщина панели 100 мм; толщина обшивок 1.0 мм; ширина панели – 1.0 м; длина (пролет) панели – 1.2 м. Материал обшивок имеет следующие упругие характеристики: модуль упругости $E = 2.06 \times 10^5$ МПа; модуль сдвига $G = 7.8 \times 10^4$ МПа. Материал среднего слоя был принят изотропным с упругими характеристиками: модуль упругости $E = 7$ МПа; модуль сдвига $G = 2$ МПа. Панель загружена равномерно распределенной по площади нагрузкой, равной 1.2 кПа.

Расчет трехмерной модели панели выполнялся с использованием пакета конечноэлементного анализа MCS.Nastran. Обшивки были смоделированы двумерными конечными элементами (Plate). Средний слой смоделирован объемными конечными элементами (Solid). Соединения слоев смоделированы элементами жесткой связи (Rigid).

На рис. 1 показана трехмерная расчетная модель панели, а на рис. 2 деформированная схема.

Расчет плоской модели панели выполнялся с использованием программы для расчета трехслойных панелей, разработанной в филиале РУП «Институт БелНИИС» - научно-технический центр.

На рис. 3 показана плоская расчетная модель и результаты расчета панели.

Левчук Александра Александровна, младший научный сотрудник отдела испытаний строительных конструкций филиала РУП «Институт БелНИИС» - научно-технический центр.
Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267/2.