

# СУХОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 624.074

*Горохов Е.В., доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, ректор ДонНАСА;*

*Мущанов В.Ф., доктор техн. наук, профессор, ДонНАСА;*

*Гавриш А.М., к. ф. н., профессор КНУБА, ген. директор, ООО «Кнауф Гипс Киев»;*

*Бармотин А.А., к. т. н., доцент, ДонНАСА;*

*Старченко А.Ю., ген. директор, ДП «Кнауф Маркетинг»;*

*Клименко С.В., к. т. н., директор Технического департамента, ДП «Кнауф Сервис Украина», г. Киев;*

*Касимов В.Р., к. т. н., доцент;*

*Косик А.Б., ассистент, Кафедра металлических конструкций,*

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка*

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СУХОГО СТРОИТЕЛЬСТВА КНАУФ

Уникальность гипсокартонных конструкций заключается в их многофункциональности и практически безграничной возможности адаптироваться к любым формам внутреннего объема помещения, что позволяет воплотить в жизнь даже самые креативные замыслы дизайнеров и архитекторов. Криволинейные гипсокартонные конструкции гармонично вписываются в интерьеры различных зданий: вокзалы, терминалы, торговые павильоны, учебные аудитории, холлы общественных учреждений [1].

Проектирование конкретного дизайнерского решения может выполняться, исходя из конструктивных требований унифицированных решений, в пределах прогнозированной работы гипсокартонных конструкций, или, во втором случае, для особо сложных нестандартных объемных криволинейных поверхностей на основании расчетов с учетом индивидуальных особенностей объекта, прочностных и деформативных характеристик материалов и геометрии гипсокартонной конструкции [2].

Благодаря всесторонним партнерским отношениям, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры на протяжении десяти лет успешно применяет опыт и передовые технологии компании КНАУФ. Очередным шагом является изготовление и монтаж уникального эллипсоидного гипсокартонного

купола при реконструкции рекреационной зоны главного учебного корпуса. Необходимость данного решения связана с дефицитом помещений внеаудиторной подготовки студентов и мест отдыха в перерывах между занятиями.

Архитектурная композиция внутреннего пространства рекреационной зоны включает в себя крупно-размерный купол в комбинации с оригинальными гипсокартонными элементами колонн и потолков, зеленой зоной и фонтаном, что благоприятствует эмоциональной разгрузке и психологической релаксации студентов, преподавателей и гостей Академии (фото 1, рис. 1).

Стандартные купола КНАУФ представлены двумя системами типа «Берлин» и «Мюнхен», которые отличаются между собой размерами и кривизной, но похожи по конструкции и ограничены размерами.

При реконструкции пятизвездочного отеля «Донбасс-Палац» (г. Донецк) сотрудниками ДП «Кнауф Маркетинг» (г. Киев) были разработаны и успешно применены конструкции пологих куполов типа «Берлин» диаметрами 3900 мм и 6300 мм.

На практике, как в нашем случае, с целью повышения выразительности внутреннего объема достаточно сложных и нестандартных архитектурно-планировочных решений возникает целесообразность внедрения



Фото 1. Реконструкция рекреационной зоны главного учебного корпуса ДонНАСА

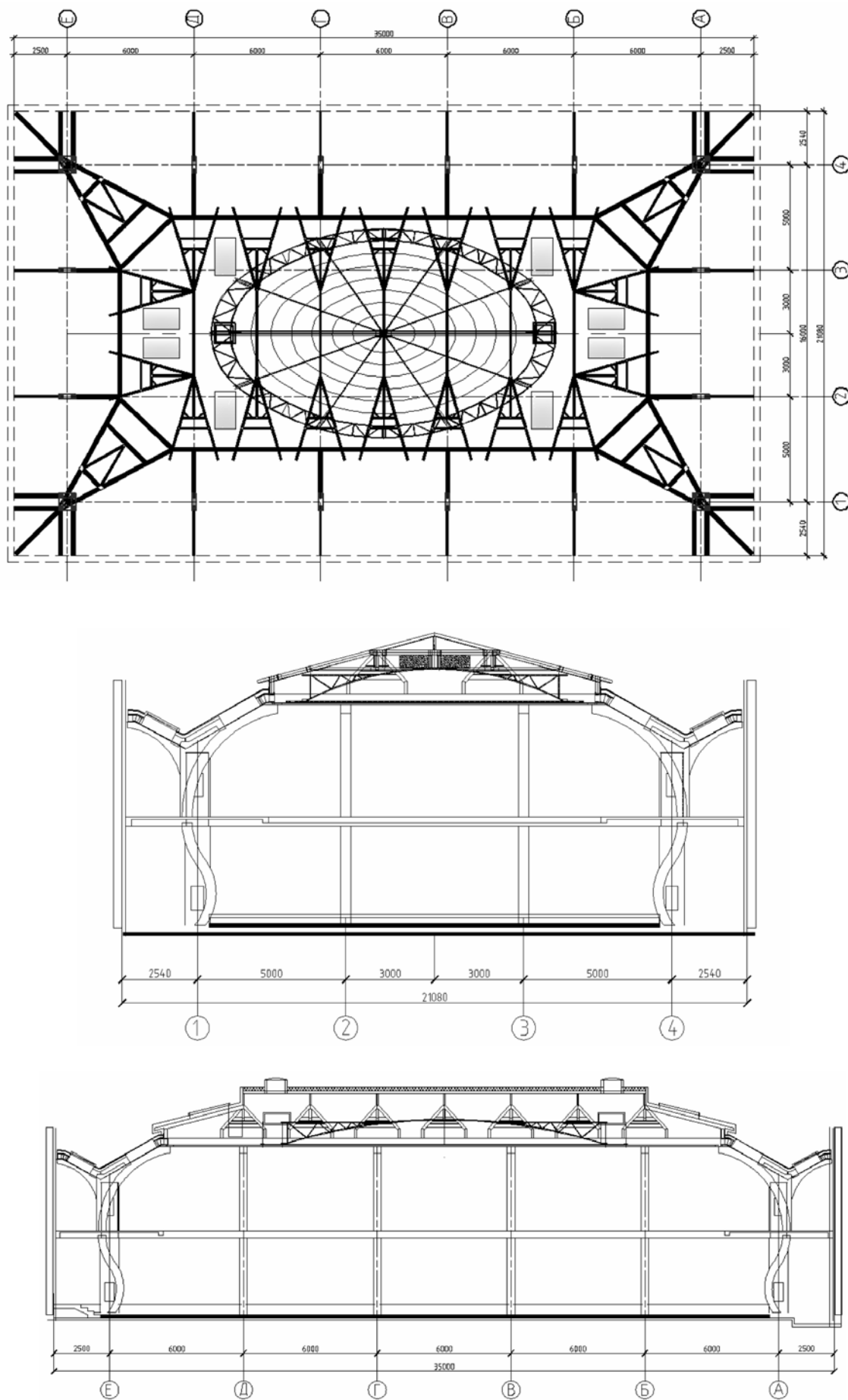
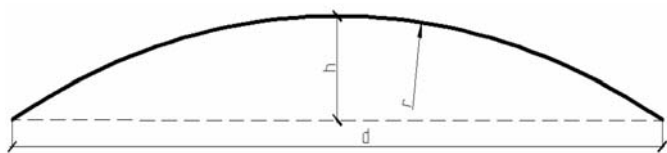


Рис. 1. Схема покрытия (а), поперечный (б) и продольный разрез реконструируемой рекреационной зоны главного корпуса ДонНАСА



Пологий купол	«Берлин»	«Мюнхен»
Высота обшивки, h	235 мм	358,5 мм
Диаметр обшивки, d	2132 мм	2600 мм
Радиус обшивки, r	2536 мм	2536 мм

Рис. 2. Геометрия пологих куполов Кнауф

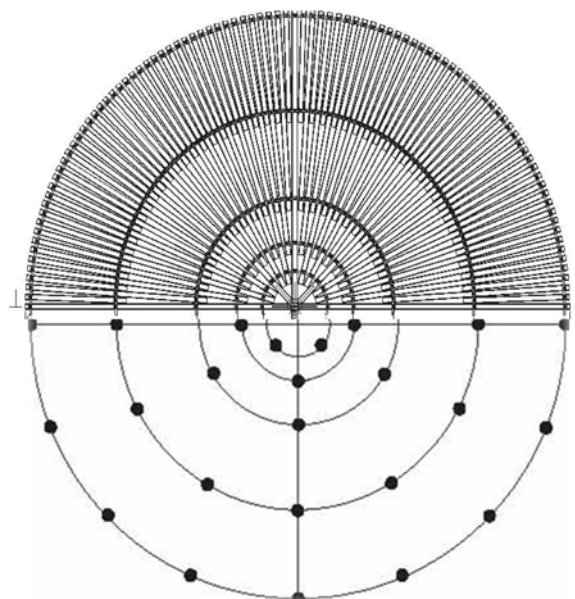


Рис. 3. Фрагменты конструктивного решения пологого купола диаметром 6,3 м в пятизвездочном отеле Донбасс Палац

в интерьер более сложных и габаритных оболочек, которые значительно превышают размеры типовых куполов КНАУФ. Однако, в этом случае, проектировщики сталкиваются с рядом серьёзных проблем:

- не решены вопросы граничных размеров и толщин гипсокартонных оболочек;
- выполнение условий I и II групп предельных состояний для несущего и вспомогательного каркасов и, как следствие, расположения, количества и вида подвесов;
- необходимости устройства деформационных швов в оболочке и по контуру примыкания, с целью обеспечения трещиностойкости, как основного критерия потери эстетического вида для данных конструкций.

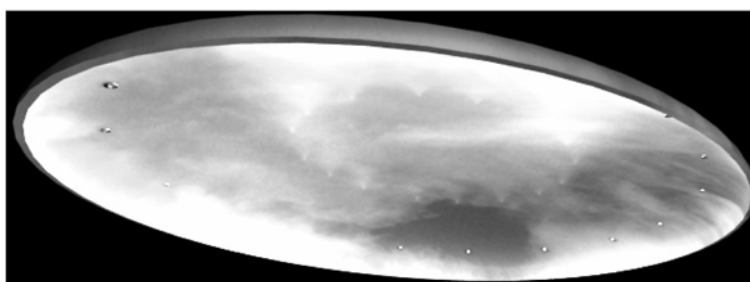
Особые сложности возникают при проектировании и монтаже куполов эллипсоидной и овальной формы. Проектным решением реконструкции рекреационной зоны предусмотрена каркасная конструктивная схема. Колонны приняты двух- и четырехветвевые и имеют жесткое соединение со столбчатыми железобетонными фундаментами. Консольное перекрытие – моно-

литное железобетонное балочного типа. Стропильные формы покрытия выполнены из трубчатого профиля с шарнирным соединением с силовым поясом. Силовой пояс закреплен к верхним частям траверс, которые крепятся на оголовки колон.

В нашем случае, учитывая размеры эллипсоидной оболочки и конструктивное решение стропильного покрытия, мы столкнулись, в первую очередь, с ограниченным количеством мест для возможной подвески оболочки. Поэтому изначально пришлось отойти от типового решения купольных систем КНАУФ типа «Берлин» и «Мюнхен».

Для крепления унифицированных CD-профилей и гипсокартонных плит Кнауф, а также равномерного распределения нагрузки по стропильным конструкциям покрытия было принято решение запроектировать несущий каркас купола из стальных гнутых квадратных профилей, как наиболее экономичных по расходу металла.

Исходными данными для расчета несущих конструкций подвесного потолка является габариты рек-



Разрез		
Высота, h	1100 мм	
Диаметр, d	14350 мм	8660 мм
Радиус кривизны, r	23500 мм	9200 мм

Рис. 4. Общий вид и проектная геометрия купола в рекреационной зоне

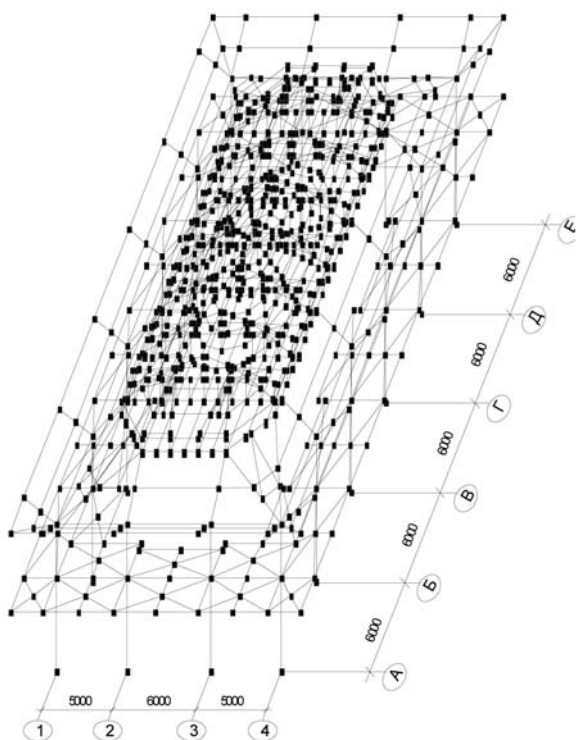


Рис. 5. Расчетная схема конструкций покрытия с несущим каркасом купола

реакционной зоны главного учебного корпуса. Ширина здания в осях 1–4 составляет 16,0 м, длина в осях А–Е – 30,0 м (рис. 1). Общие габариты здания по наружному контуру строительных конструкций составляют 35,0х21,08 м. Отметка верха обвязочного контура для опирания стропильных конструкций составляет +7,800 м. Отметка верха междуэтажного консольного перекрытия +3,300 м.

Расчетная схема конструкций стропильного покрытия с несущим каркасом купола является состав-

ляющей частью общей расчетной схемы конструкций здания рекреационной зоны. Расчет несущих конструкций выполнен по первой и второй группе предельных состояний. Для расчета использован программный комплекс «SCAD Office», предельные гибкости приняты согласно [3]:

- для растянутых элементов предельная гибкость –  $[\lambda] = 400$ ;

- для сжатых элементов предельная гибкость –  $[\lambda] = 150$ .

Район строительства объекта: по снегу – V с нормативным весом снегового покрова  $\rho_0 = 1.5 \text{ кН/м}^2$ ; по ветру – III с нормативным ветровым напором –  $\rho_0 = 0,5 \text{ кН/м}^2$  [4].

В ходе проектирования выполнен статический расчет несущего каркаса купола и подбор сечения составляющих элементов согласно [3]. При выполнении расчета приняты следующие виды статических нагрузок:

- загрузка 1 – постоянная нагрузка от собственного веса конструкций;

- загрузка 2 – полезная (временная) нагрузка на несущий каркас купола;

- загрузка 3 – снеговая нагрузка на конструкции покрытия здания;

- загрузка 4 – полезная (временная) нагрузка на конструкции покрытия здания;

- загрузка 5 – ветровая нагрузка на конструкции покрытия здания (разгружающий эффект);

- загрузка 6 – температурное воздействие  $\Delta t = 10^\circ \text{C}$ .

На основании расчета была запроектирована оболочка положительной гауссовой кривизны, усиленная радиальными и кольцевыми ребрами. Кольцевые ребра установлены с шагом 0,965 м, описаны эллипсами и смоделированы элементом пространственной рамы сечением из стальной квадратной трубы 40х3 мм.



Фото 2. Монтаж вспомогательного каркаса из гнутых CD-профилей КНАУФ

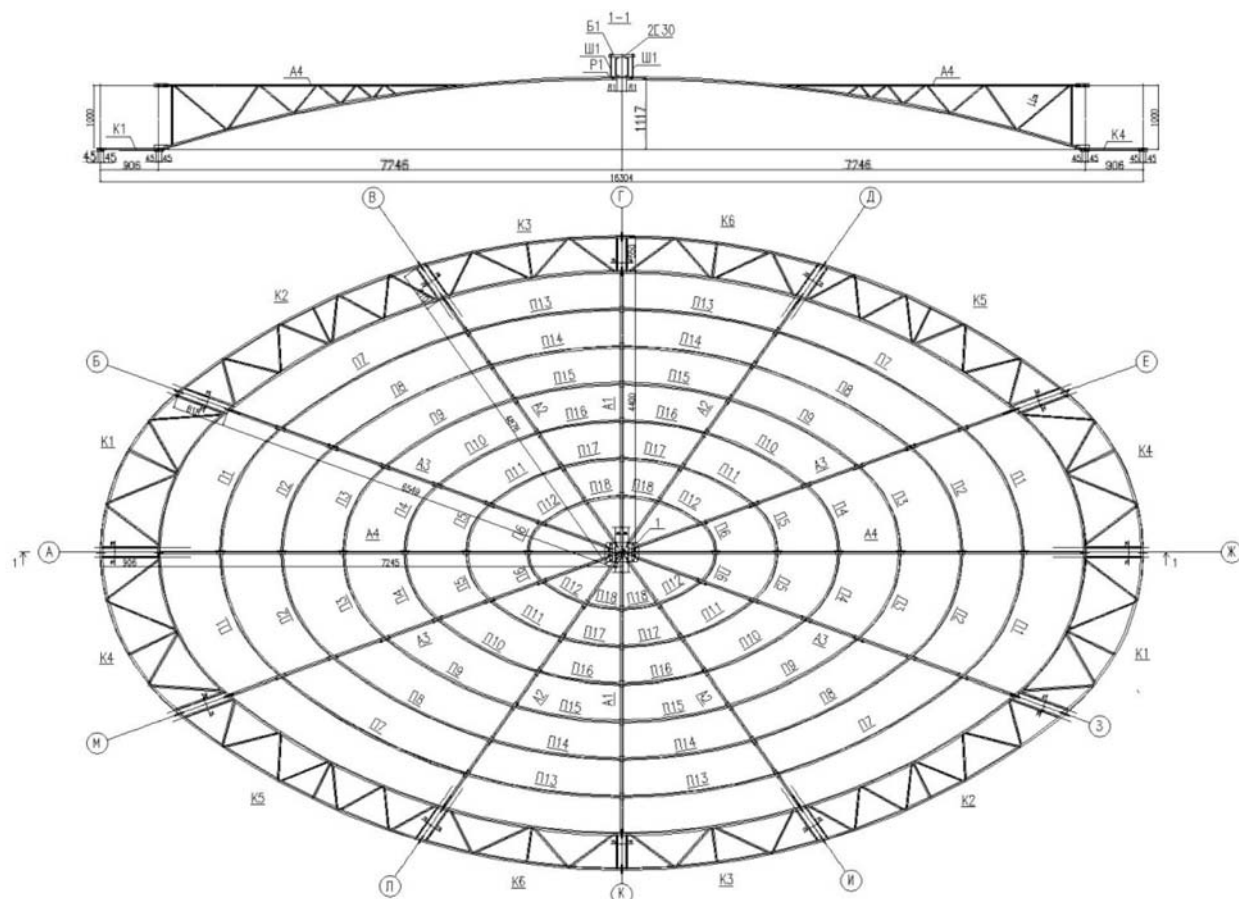


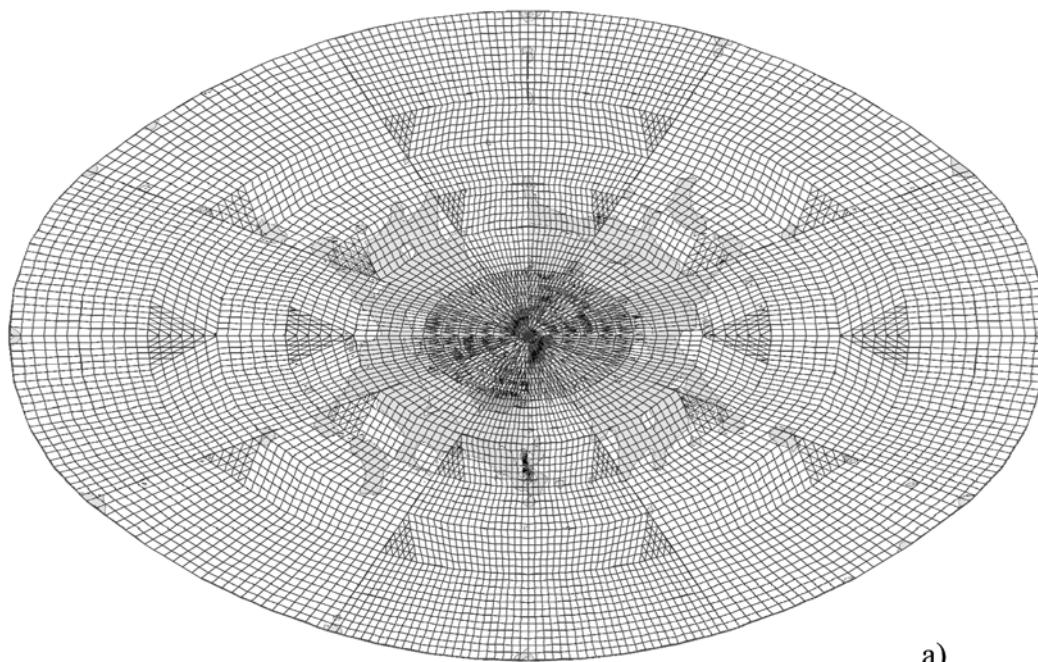
Рис. 6. Конструктивное решение и монтаж несущего каркаса купола

Оболочка усилена 7 кольцевыми поясами. Радиальные элементы оболочки расположены с шагом  $30^\circ$  и запроектированы сложного составного сечения и по статической схеме работы являются фермами с сжато-изогнутыми поясами. Стержни решетки смоделированы элементами пространственной фермы сечением из стальной квадратной трубы  $25 \times 25$  мм. Нижний и верхний пояс фермы радиального ребра запроектирован из стальной квадратной трубы  $40 \times 3$  мм, тип конечного элемента присвоен – стержень пространственной рамы.

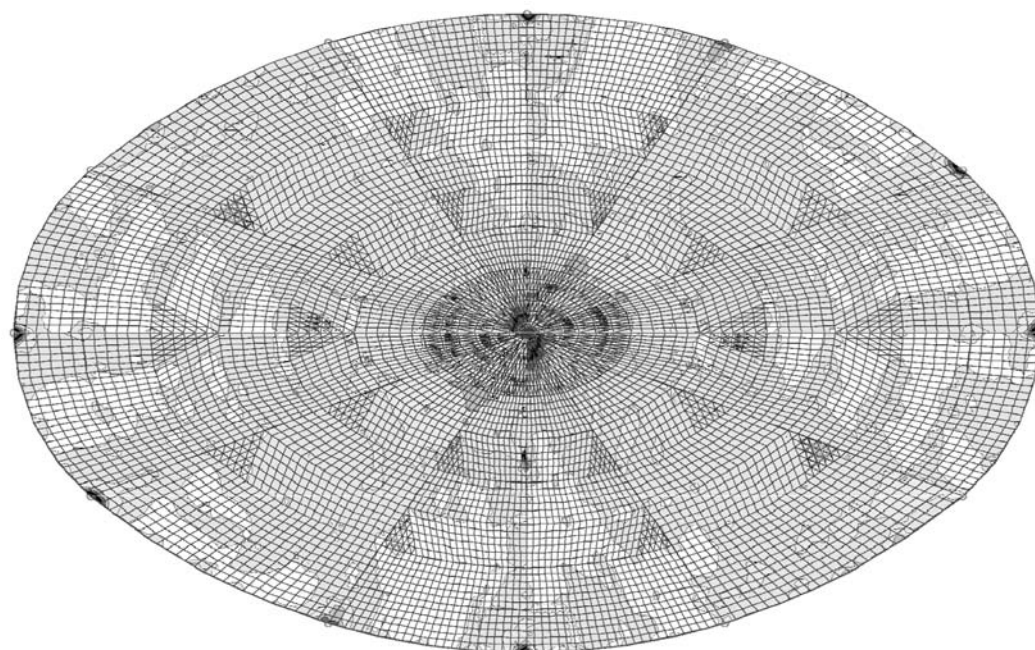
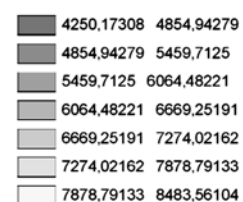
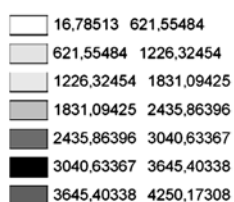
Перед началом монтажа была произведена контрольная сборка каркаса на стендовой площадке, собраны леса и сплошной настил по площади проекции купола. Сборка каркаса в проектное положение осуществлялась отдельными элементами, которые соединялись между собой на болтах. В первую очередь, фиксировался элемент вершины купола, к которому крепились радиальные элементы. Затем

устанавливались радиальные элементы от оси А и далее по часовой стрелке, подвешивали к стропильным конструкциям покрытия. Параллельно велась установка кольцевых элементов К1, К2,... П1, П2,... и т.д. с соблюдением направления монтажа. На всех этапах осуществлялся контроль высотных отметок, линейных и угловых размеров. После сборки и выверки в проектное положение несущего каркаса приступили к устройству вспомогательного каркаса из CD-профилей, предварительно изогнутых по соответствующим радиусам на специальном оборудовании ДП «Кнауф Маркетинг». Профиля крепились к кольцевым элементам каркаса с помощью специальных крепежных элементов, изготовленных из одноуровневого соединителя КНАУФ (фото 2).

После завершения первого этапа, с целью уточненной оценки напряженно-деформированного состояния континуальной схемы конструкции купола и отыскания оптимального решения закрепления его к несущим стро-



а)



б)

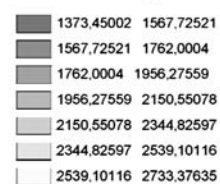
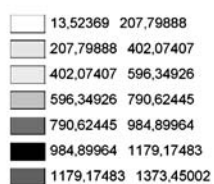


Рис. 7. Поля приведенных напряжений в  $\text{kH/m}^2$  по IV теории прочности от действия собственного веса, эксплуатационного прогиба покрытия и температурного перепада:  
 а) с шарнирно-неподвижными опорами; б) упруго-податливыми опорами



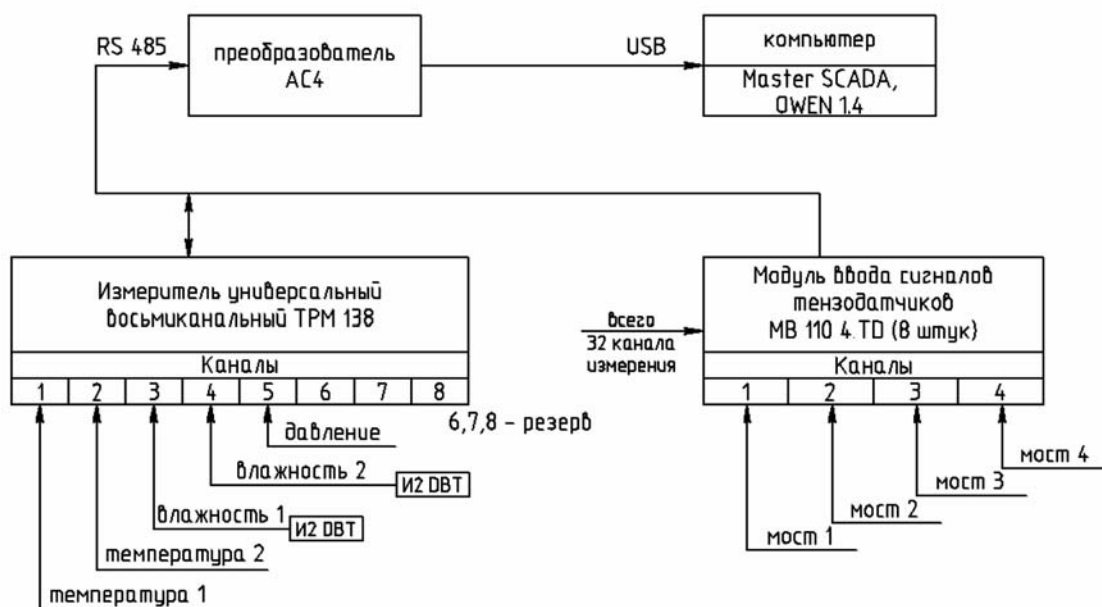


Рис. 8. Принципиальная схема автоматизированной системы мониторинга сооружений.

пильным конструкциям покрытия, был выполнен расчет совместной работы несущего каркаса купола из стальной квадратной трубы, вспомогательного каркаса из унифицированных CD-профилей и тонкостенной двухслойной оболочки из влагостойких гипсокартонных плит КНАУФ. Гипсокартонная оболочка, в основном, смоделирована четырехугольными объемными конечными элементами, шаг дискретизации вдоль кольцевого и радиального направлений составляет  $0,1 \div 0,14$  м, что обеспечивает соотношение сторон не более 2 и необходимую точность расчета, согласно рекомендациям [7, 8, 9].

Для обеспечения совместности деформаций, разбиение оболочки в узлах примыкания к радиальным и кольцевым ребрам, выполняется с помощью треугольных элементов. Характеристики элементов оболочки: толщина  $\delta = 0,25$  м; модуль упругости  $E = 3 \cdot 10^3$  МПа; коэффициент Пуассона  $\mu = 0,211$ ; объемный вес  $\gamma = 800$  кг/м<sup>3</sup>.

Задача решалась в линейной постановке, оболочка рассчитывалась на действие всех видов статических нагрузжений.

Для изучения напряженно-деформированного состояния конструкций в численном моделировании использованы два типа опорных узлов:

- шарнирно-неподвижная опора;
- упруго-податливая опора с жесткостью в вертикальном направлении эквивалентно моделирующая поведение пластинчатого шарнира, в местах крепления несущего каркаса купола к стропильным конструкциям покрытия.

Анализируя результаты расчетов, а также поля приведенных напряжений (рис. 7), можно сделать следующие выводы:

- схема закрепления с шарнирно-неподвижными опорами более предпочтительна при отсутствии температурных перепадов и деформаций вышележащего покрытия;
- при температурных воздействиях и вероятного эксплуатационного прогиба стропильного покрытия,

использование пластинчатого шарнира для несущего каркаса купола позволяет в местах опорных закреплений в 2...2,5 раза снизить уровень локальных напряжений в гипсокартонной оболочке;

- независимо от конструктивного решения закрепления несущего каркаса купола напряжения превышают или соответствуют границе трещинообразования в стыках гипсокартонной оболочки такого размера, что требует устройства деформационных швов, в силу недостаточно изученности напряженно деформированного состояния двухслойной оболочки в период её монтажа;

- учитывая значительные расхождения в результатах расчета величин приведенных напряжений по III и IV теориям прочности, а также проведение исследований в упругой постановке задачи, окончательное заключение о стабильности полученных результатов можно получить лишь на основе мониторинга технического состояния объекта.

Специалисты ДонНАСА имеют достаточный практический опыт по автоматизированным системам мониторинга сооружений:

- автоматизированные гололёдно-ветровые метеопосты НЭК "Укрэнерго";
- система управления работой аэродинамической трубы МАТ-1 ДонНАСА;
- система управления процесса испытаний на Полигоне испытаний опор линий электропередач и башенных конструкций ДонНАСА;
- автоматизированная система сбора информации воздействия ветрового давления на высотные здания (пр. Тычины на Днепровской набережной г. Киев);
- архитектура системы мониторинга технического состояния покрытия стадиона «Донбасс Арена» (г. Донецк) [5,6].

Система мониторинга (рис. 8) предназначена для непрерывного контроля за характерными процессами, происходящими в конструкции, на протяжении длительного периода в режиме реального времени. Полученные данные архивируются и обрабатываются с использовани-

ем стандартных процедур математической статистики.

Проведение экспериментальных исследований в этом направлении представляет серьезный практический интерес и позволит с достаточным уровнем надежности проектировать криволинейные объемные гипсокартонные конструкции любой формы и сложности и оценивать реальный срок службы таких конструкций с учетом условий эксплуатации.

### Выводы

1. Анализ сложившейся практики проектирования позволяет зафиксировать тенденцию к увеличению размеров и усложнению конструктивных форм пространственных конструкций в виде куполов-оболочек компании КНАУФ.

2. При ограниченном количестве мест для возможной подвески, приходится отходить от типовых решений купольных систем КНАУФ и разрабатывать рациональную схему закрепления купола в зависимости от конструктивных особенностей объекта строительства.

3. Для куполов больших размеров теоретически исследована возможность реализации эффективного закрепления оболочки купола к несущим конструкциям покрытия с помощью пластинчатых шарниров, представляющих собой аналог односторонней связи, используемых в куполах малых размеров.

4. Для создаваемых новых конструктивных форм особого внимания и дополнительных исследований требуют вопросы:

- установления предельных значений геометрических и жесткостных параметров проектируемых конструкций, при которых обеспечивается их трещиностойкость, как основной критерий эстетического вида;

- для оценки действительного напряженно-деформированного состояния крупноразмерных оболочек, совершенствованию расчетных схем и создания инженерных методик их расчета и проектирования, необходимо проведение комплекса экспериментальных исследований, базирующихся на показаниях систем мониторинга технического состояния, что позволит с достаточной обеспеченностью проектировать криво-

волинейные объемные гипсокартонные конструкции любой формы и сложности.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Циприанович І.В., Старченко О.Ю., Гулін Д.В. Криволінійні та ламані форми гіпсокартонних облицювань. К.: ВАТ "Майстри", 2009. – 224 с.

2. Гавриш А.М. Современные технологии формирования архитектурного пространства на основе сухого строительства. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции "Промышленное и гражданское строительство в современных условиях". МГСУ, 2011. – С. 153–155.

3. СНиП II-23-81\* Стальные конструкции. Нормы проектирования.

4. ДБН В.1.2-2:2006 "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования".

5. Горохов Е.В., Мушанов, В.Р. Касимов, Я.В. Назим, С.Г. Кузнецов, В.Н. Васылев. Мониторинг сложных технических систем // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2008. – Том 14. – № 4. – С. 300–313.

6. Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Левин В.М., Мнацаканян К.Б., Касимов В.Р. Основные принципы формирования системы мониторинга технического состояния покрытия над трибунами стадионов. Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту ім. В.М. Шимановського – К.: Вид-во «Сталь», 2010. – Вип. 5 – 272 с. – С. 5–14.

7. Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Кинаш Р.И., Шимановский А.В., Лебедич И.Н. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов / (2-е издание, исправленное и дополненное) / Под общей редакцией Е.В. Горохова и А.В. Шимановского. – Макеевка, РИО ДонНАСА, 2008. – 404 с.

8. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа – Изд-во «Сталь». – Киев, 2002. – 606 с.

9. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – Киев: Факт, 2007. – 394 с.

УДК 693.61

Старченко А.Ю., генеральный директор, ДП «Кнауф Маркетинг»;

Клименко С.В., канд. техн. наук, директор Технического департамента, ДП «Кнауф Сервис Украина», г. Киев;

Бармотин А.А., канд. техн. наук, доцент;

Кожемяка С.В., профессор;

Косик А.Б., ассистент, кафедры Технологии и организации строительства, ДонНАСА, г. Макеевка

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА НАЛИВНЫХ ГИПСОВЫХ ПОЛОВ КНАУФ

**Актуальность.** Приоритетным направлением в государственной инвестиционной политике развития строительной отрасли Украины является возобновление темпов строительства доступного жилья для населения и объектов социальной сферы.

Повышение требований к качеству, скорости и стоимости работ на фоне увеличения конкурентоспособности в отрасли приводит к необходимости применения строителями экологически чистых, безопасных

и ресурсосберегающих инновационных технологий. Особое внимание уделяется совершенствованию технологий и материалов в процессе отделки зданий, ответственным и трудоемким этапом которой является устройство полов. Стабильно высоким спросом пользуются самовыравнивающиеся стяжки. Основываясь на тщательной стандартизации базовых конструктивных решений и достаточную оснащенность возможных комплектаций штукатурных машин,