

УДК 692

Ишанова В.И. – аспирант

E-mail: veronika\_ishanova@mail.ru

Удлер Е.М. – кандидат технических наук, профессор

E-mail: udler@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

## Возможности формообразования тентовых материалов

### Аннотация

В статье приводится анализ состояния вопроса проектирования тентовых оболочек, связанного с формообразованием и раскроем тентовых оболочек отрицательной гауссовой кривизны. Описывается процесс проведения предварительных испытаний, целью которых стало изучение свойства формуемости тентовых материалов, как следствия изменения сетевых углов. По мнению авторов это позволит упростить процесс проектирования раскрай тентовых оболочек двойкой кривизны. Принципиальной задачей в ходе исследований, описываемых в статье, стало изучение процесса перестройки структуры нитей в образцах из тентового материала. Представлены алгоритм и результаты испытаний.

**Ключевые слова:** тентовые покрытия, мягкие оболочки, раскрай оболочек сложных форм, пленочно-тканевые ограждения сооружений, сетевой угол, формообразующие свойства материалов, поверхности отрицательной гауссовой кривизны, сетчатые оболочки, чебышевские сети.

Тентовые покрытия притягивают к себе творческое внимание современных архитекторов широкими возможностями формообразования и технологичности. В подтверждение можно привести примеры новейших крупных сооружений. Торгово-развлекательный центр «Хан Шатер» в столице Казахстана Астане по проекту архитектора Нормана Фостера (рис. 1а). «Центр динамики Земли» в Эдинбурге архитектора М. Хопкинса (рис. 1б). Ангар для дирижаблей CargoLifter фирмы SIAT Architektur + Technik в немецком городе Бранде. Ботанический сад «Эдем» в Корнуолле, спроектированный архитектором Н. Гrimشو с весьма впечатляющими размерами. Пролет этого покрытия 120 м, а длина около 1 км при высоте 60 м. Транспортный терминал в Детройте, разработанный в студии FTL Design Engineering Studio, и ряд других. Одним из первых значительный вклад в развитие тентовых сооружений внес архитектор Ф. Отто, известный своими реализованными проектами тентового павильона ФРГ на ЭКСПО-67 в Монреале, покрытия олимпийского стадиона в Мюнхене (1972 г.), павильона Федеральной выставки садоводства в Мангейме (1975 г.), аэропорта в Джидде (Саудовская Аравия, 1980 г.). В проектировании и строительстве сооружений с применением тентовых систем принимали участие такие архитекторы как Р. Роджерс, Ф. Самин (Бельгия), Р. Пиано (Италия). И в России уделяется внимание развитию этого типа архитектурных и строительных сооружений. Известны научные труды ряда отечественных ученых, например, Ю.И. Блинова, В.А. Сладкова [1], Е.М. Удлера [2], Ю.С. Лебедева, В.Г. Темнова, Т.М. Дымковой, Н.А. Сапрыкиной и др.

Как правило, тентам придают форму поверхностей отрицательной гауссовой кривизны для повышения их стабильности. Основной проблемой проектирования таких оболочек являются расчет формообразования и построение раскройных карт покрытия. Сложности проектирования раскрай оболочек отрицательной гауссовой кривизны связаны с тем, что такие поверхности не разворачиваются на плоскость. Толчком для такого рода исследований послужила идея П.Л. Чебышева о развертывании сложных поверхностей с использованием сетей с равносторонними ячейками, так называемых чебышевских сетей [4].

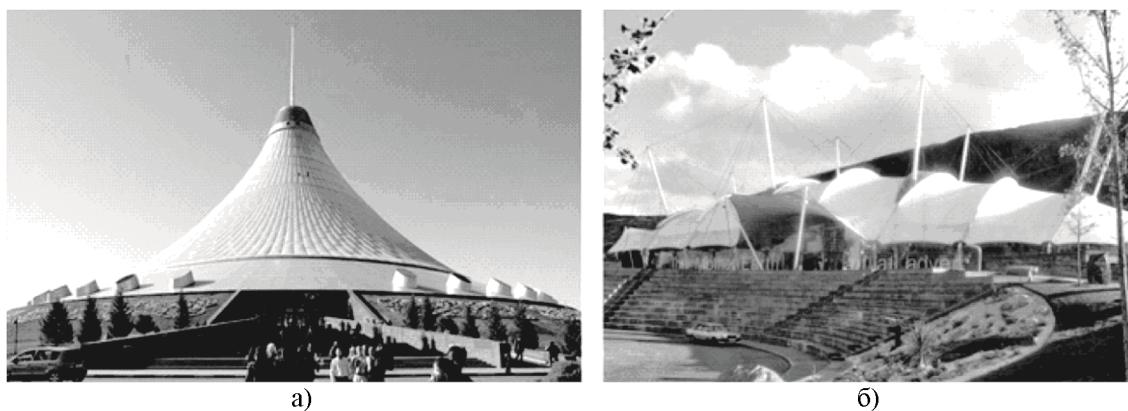


Рис. 1. Примеры тентовых архитектурных сооружений

Вопросам формообразования и раскроя оболочек отрицательной гауссовой кривизны уделяется внимание в работах Б. Табарокка, Е.В. Попова [3], В.Н. Шалимова, В.Н. Кислоокого. Тем не менее, до сих пор остается не достаточно изученным вопрос о влиянии структурной перестройки в тканях, используемых для изготовления тентовых материалов, на их способность приобретать форму оболочек двойкой кривизны.

Из исследований в области швейной промышленности известно, что ткань может в определенных границах принимать форму поверхности двойкой кривизны за счет изменения углов между нитями ткани, называемых сетевыми углами. Эту способность тканей переходить из плоского в объемное состояние за счет изменения сетевых углов, при сохранении длины самих нитей, принято называть формуемостью. Исследования этого свойства современных материалов, предназначенных специально для проектирования тентовых сооружений, в научной литературе не отражены и авторам не известны.

В связи с этим, целью исследований, описываемых в данной статье, стало изучение свойства формуемости тентовых материалов, как следствие изменения сетевых углов. Это необходимо при определении размеров и границ плоских заготовок для мягких оболочек двойкой кривизны, что позволит увеличить размеры раскройных элементов и как следствие, положительно отразится на экономии материала, упрощении технологии изготовления и повышении выразительности формы в целом. Авторами проведен ряд предварительных испытаний растяжением на разрывной машине образцов из нескольких видов материалов, с разной структурой строения: канвы, брезента и тентовой ткани с пленочным покрытием.

В тканевых материалах различают два взаимноортогональных направления армирования – основу и уток, определяющих ортотропность их механических характеристик. Переплетение нитей в технических тканях обычно полотняные или в виде рогожки. Последнее отличается наличием двух комплексных нитей в направлении основы или утка. Такой тип плетения имеет тканевая основа тентовых ПВХ материалов. Ткани с пленочным покрытием, используемые для тентовых сооружений, как правило, многослойны. Пропитки, пленки, полимерные связующие значительно влияют на механизмы их структурной перестройки и усложняют их изучение. Поэтому сначала проводились испытания образцов материалов с ярко выраженной тканевой структурой, имеющих схожее плетение нитей, таких как канва и брезент.

Замечено, что при приложении небольших растягивающих усилий, направленных под углом  $45^\circ$  к нитям такой ткани, изначально квадратные ячейки между нитями принимают форму ромба, сохраняя при этом длины сторон, но изменяя сетевой угол между нитями. Задачей исследования в экспериментах было определение предельных изменений сетевого угла, когда поверхность образца при растяжении ткани по диагонали еще остается в плоском состоянии (т.е. до момента образования складок). Это легло в основу методики испытаний, принятой авторами.

В процессе экспериментов стал вопрос об оптимальных размерах образцов для испытаний. Для повышения точности измерений сетевых углов желательна большая ширина образца. Но она ограничена возможностями разрывной машины. В связи с этим было принято решение отступить от стандартных размеров образцов 200x50 мм,

используемых для испытаний тканей на прочность при растяжении. Так, в испытаниях образцов из канвы, брезента и тентовой ПВХ ткани производства корейского завода HANWHA (рис. 3а, б, в соответственно), были приняты размеры 200x55 мм, 300x55 мм. Увеличение размеров связано с попыткой получения большего участка образца, мало подвергаемого поперечным деформациям, так как при растяжении полоса ткани получает наибольшие изменения у зажимов и по краям образца, как показано на рис. 2б.

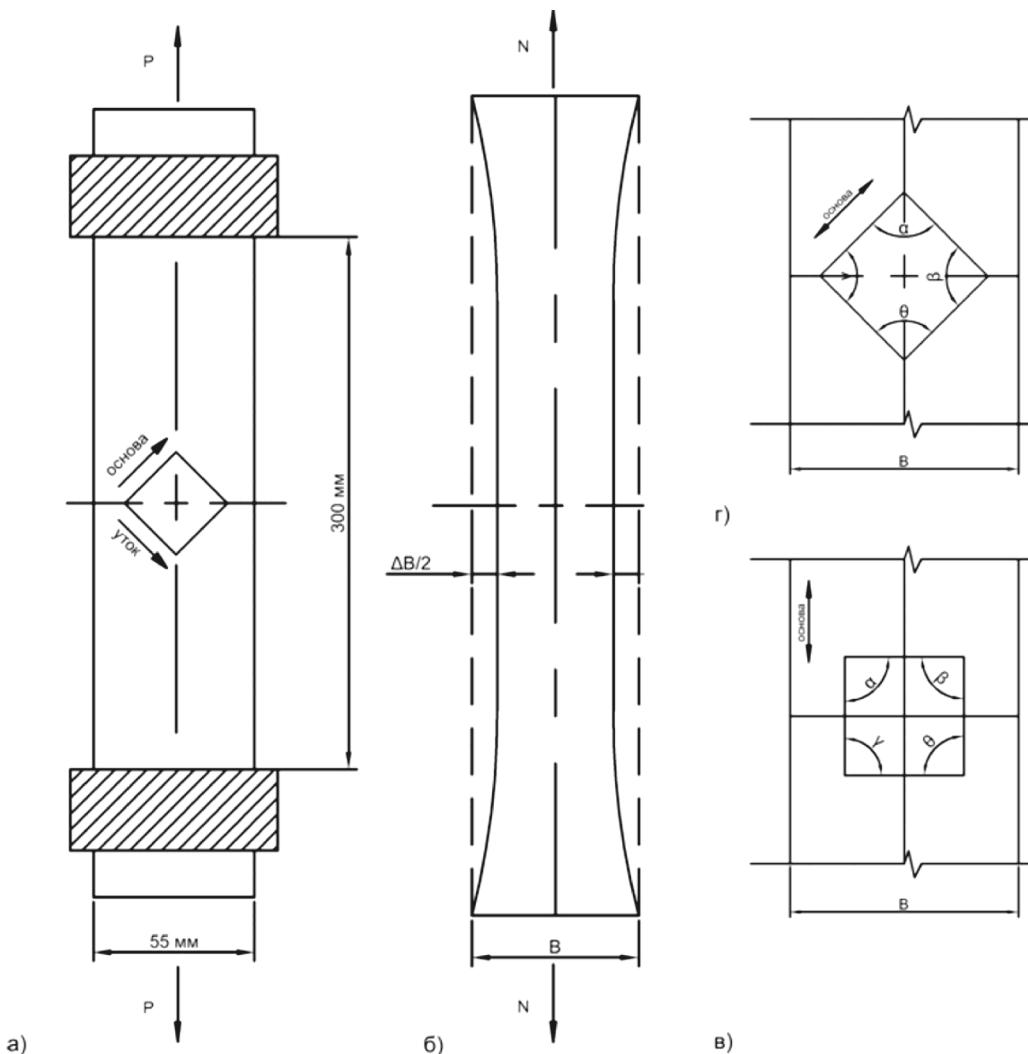


Рис. 2. Схема деформаций образца ткани. Схемы образцов ткани

Испытания проводились растяжением на электромеханической разрывной машине. Нагружение образцов проводилось механическим способом с интервалом по времени 3 секунды. Схема нагружения показана на рис. 2а. Величина ступени нагружения для каждого типа образца принималась различной (рис. 4), в зависимости от механических свойств материала и угла раскроя образца относительно направления основы ткани. Растяжение осуществлялось до момента образования складок, который определялся визуально. Фиксация результатов испытаний производилась при помощи фотоаппарата, установленного на штативе перпендикулярно к плоскости испытуемого образца.

Образцы материалов имели прямоугольную форму с геометрическими размерами 200x55 мм и 300x55мм (рис. 3). Испытывались четырех вида образцов для каждой ткани: выкроенных вдоль основы и под углом 45° к основе для каждого из размеров соответственно. На образцах ровно посередине расчерчивался квадрат со сторонами 28 мм, параллельно направлениям нитей ткани (рис. 2).

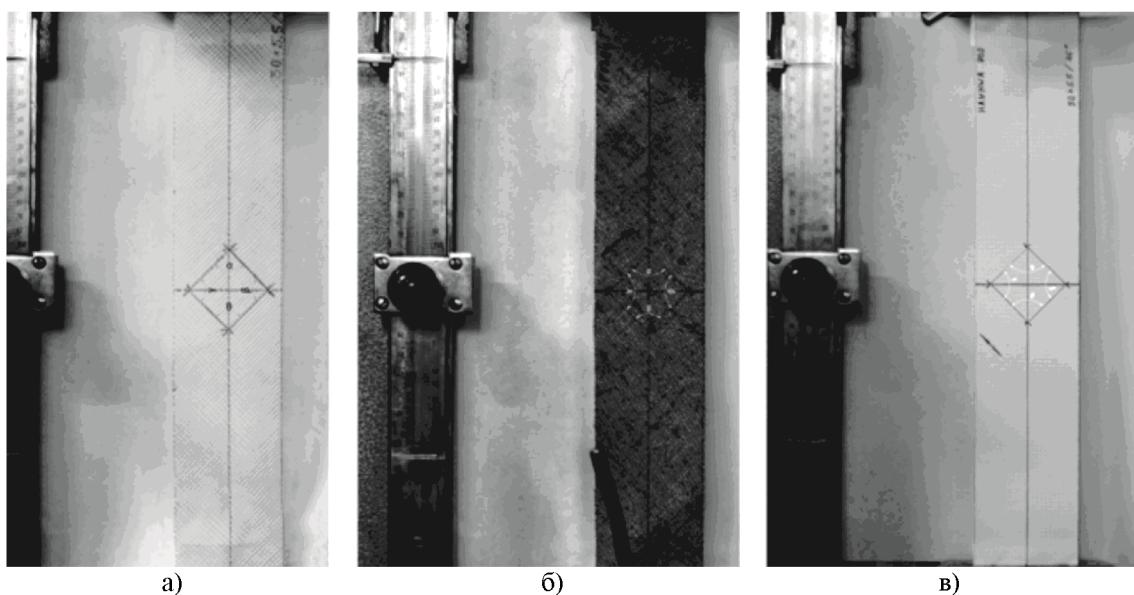
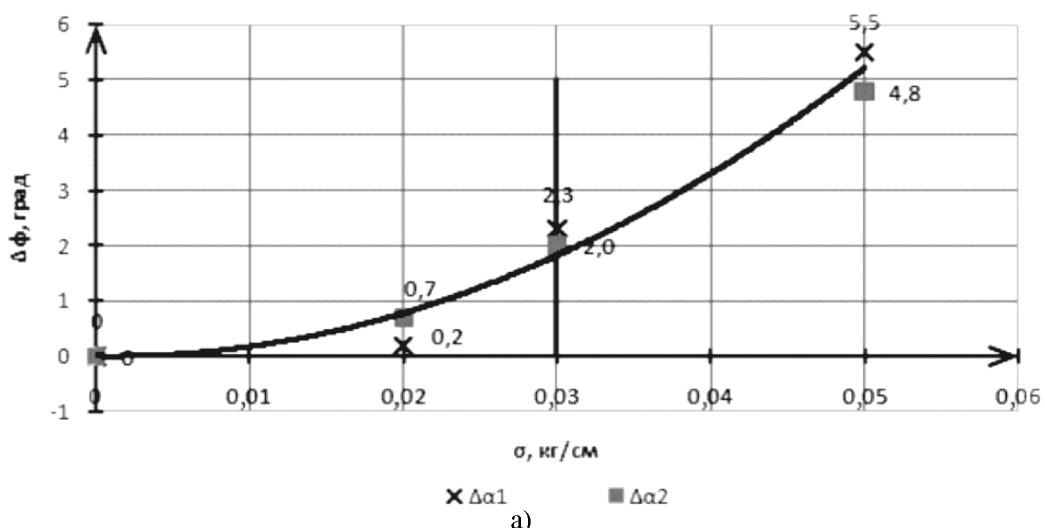


Рис. 3. Фотографии образцов тканей

Величины сетевых углов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ ,  $\gamma$  (рис. 2 в, г) замерялись в процессе обработки фотографий, полученных в ходе экспериментов, на ЭВМ. Для этого была сделана серия фотоснимков с фиксацией каждого шага нагружения. Усредненные результаты испытаний были представлены в виде графиков изменения сетевых углов в зависимости от усилий растяжения, как показано на рис. 4а, б, в.

Сложной задачей оказалась точная фиксация момента образования складок на образцах из тентового материала. Для ее решения авторы предполагают, в дальнейшем, повысить видимость теней от складок за счет бокового освещения или использовать эффект муара.

Выявлена некоторая аналогия в процессах перестройки структуры нитей во всех испытанных типах материалов. При исследовании образцов из канвы и брезента, в момент образования складок наблюдалась значительная релаксация напряжений. Фиксация этого момента при испытании образцов из тентового материала, позволила определить усилие в момент образования складки на образце. Это отмечено вертикальной линией на графиках на рис. 4. Величина приращения сетевого угла  $\Delta\alpha_{ср}$  (кривая на графиках на рис. 4) в момент образования складок на материале может быть принята за искомую характеристику формируемости материала. То есть для каждого материала можно определить максимальное значение изменения сетевого угла, в пределах которого тент может формироваться без образования складок.



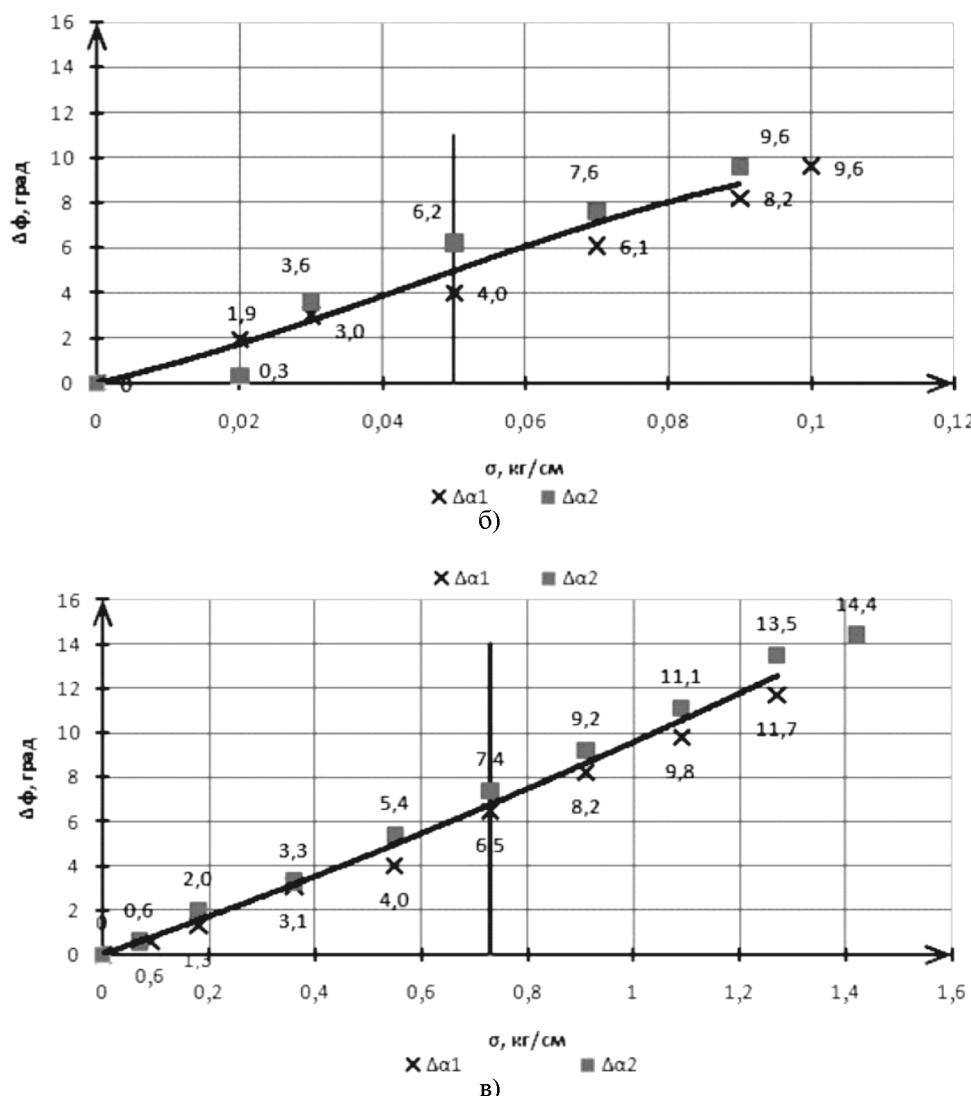


Рис. 4. Графики изменения сетевых углов, построенные по результатам испытаний канвы (а), брезента (б), пленочно-тканевого тентового материала (в)

Проведенные авторами постановочные эксперименты позволяют сделать следующие выводы:

- разрабатываемая методика позволяет изучать изменение величин сетевых углов, а значит и свойство формируемости тентовых материалов;
- тентовые материалы с пленочными покрытиями, как и непокрытые ткани обладают определенными свойствами формируемости, а значит, при раскрое оболочек может быть использована идея сетей Чебышева.

#### Список библиографических ссылок

1. Сладков В.А. Архитектурные формы и виды тканевых и сетчатых покрытий, трансформируемых из плоскости // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры. – М., МАРХИ, 1969.
2. Удлер Е.М. Сооружения с подвесными тентовыми ограждениями // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.
3. Попов Е.В. Геометрическое моделирование тентовых тканевых конструкций с помощью метода натянутых сеток.
4. Чебышев П.Л. «О кройке одежды». Полное собрание сочинений. Том V. – М., 1955. – 256 с.

**Ishanova V.I.** – post-graduate student

E-mail: veronika\_ishanova@mail.ru

**Udler E.M.** – candidate of technical sciences, professor

E-mail: udler@kgasu.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### **The possibility of formation of tent material**

#### **Resume**

The article is an analysis of the study of the design tent shells in general, as well as analysis of existing scientific papers related to shaping and cutting of soft shells of negative Gaussian curvature. Listed counterparts of architectural tent structures. Describes the authors proposed a possible method of investigation of tent material, the purpose of which is to determine the formability properties of such materials. The principal objective of the study authors became finding the limit of the mesh angle at which on the fabric begin to form folds, that, in their opinion, will simplify the process of designing a cutting tent shells of double curvature. For this purpose, the authors have tested samples of tent material stretching on the electromechanical tensile machine. The algorithm of the pre-test of the authors. In the above preliminary studies, the authors have determined the geometric parameters of the test pieces of tent materials in order to determine their properties of formability. By the authors as a result of the study revealed the presence of structural alteration in the tent materials that can be used for the design of shells of double curvature overlay networks Chebyshev method for curved surfaces.

**Keywords:** tent shells, soft-shell, cutting of complex shaped shells, film-fabric fences of constructions, net angle, shaping properties of materials, mesh shell surface of negative Gaussian curvature, mesh shells, a network of Chebyshev.

#### **Reference list**

1. Sladkov V.A. Architectural forms and types of fabric and mesh coverings, transformed from a plane. // Dissertation for the degree of candidate of architecture. – M., MAI, 1969.
2. Udler E.M. Buildings with outboard tilted fences // Dissertation for the degree of Doctor of Science.
3. Popov E.V. Geometric modeling of tent fabric designs using the stretched mesh.
4. Chebyshev P.L. «On the cutting of clothes». // Complete Works. Volume V. – M., 1955. – 256 p.