

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

*На правах рукописи*



**КОРОТИЧ**  
Андрей Владимирович

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ  
РЕГУЛЯРНЫХ ДИСКРЕТНЫХ  
СТРУКТУР В ДИЗАЙНЕ:  
АСПЕКТЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность:  
17.00.06 – «Техническая эстетика и дизайн»

Д и с с е р т а ц и я  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Екатеринбург – 2022

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>ГЛАВА 1. Развитие регулярных дискретных структур в дизайне: морфологическая типология и формотворческие направления</b> .....	17
1.1. Принцип «универсальности формы» в дизайне и морфологическая классификация регулярных дискретных структур.....	17
1.2. Анализ современных направлений формообразования и экспериментально-поисковых разработок в дизайне.....	27
1.3. Некоторые проблемные аспекты архитектурно-дизайнерского формообразования в контексте профессиональной конвергенции.....	52
Выводы по 1 главе.....	76
<b>ГЛАВА 2. Научно-методические основы геометрического моделирования новых регулярных дискретных структур различных морфологических классов</b> .....	79
2.1. Основы теории плотнейшего заполнения трехмерного пространства равными многогранными модулями. Моделирование компактных пространственных многомодульных структур.....	79
2.2. Моделирование выпуклых непризматических многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства.....	91
2.3. Моделирование невыпуклых многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства- плоскогранных и с линейчатыми элементами.....	102
2.4. Моделирование регулярных дискретных структур нового класса- линейчатых квазимногогранников.....	111
2.5. Моделирование регулярных фрактально-ступенчатых и фрактально-решетчатых дискретных структур.....	135
2.6. Моделирование новых типов многомодульных мегаструктур на основе классических многогранников.....	137

2.7. Моделирование новых типов изоэдральных сферических разбиений и звездчатых многогранников на их основе.....142

2.8. Моделирование новых типов многогранных периодических поверхностей с ячеистой/складчатой структурой.....151

Выводы по 2 главе.....160

**ГЛАВА 3. Перспективы практического использования полученных регулярных дискретных структур в различных сферах дизайна.....165**

3.1. Космические орбитальные и напланетные комплексы как объекты современного дизайна.....167

3.2. Объекты современного дизайна с трансформируемой складчатой структурой.....178

3.3. Гидротехнические промышленные сооружения как объекты современного дизайна.....186

3.4. Складчатые и решетчатые структуры как компоненты дизайна интерьеров зданий и сооружений.....191

3.5. Складчатые и решетчатые структуры как компоненты интерьерного, среднего и промышленного дизайна.....220

3.6. Центрические регулярные структуры в объектах современного дизайна.....227

Выводы по 3 главе.....231

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....236**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....240**

**ПРИЛОЖЕНИЕ.....270**

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Начало XXI века характеризуется стремительно возрастающим интересом концептуалистов и проектировщиков к новейшим формотворческим технологиям и средствам моделирования как конкретным инструментам, обеспечивающим получение конечных результатов, отличающихся качественной новизной облика, художественно-эстетическим совершенством, конструктивно-технологической и функциональной эффективностью.

Однако к настоящему моменту автору известны лишь единичные научно-исследовательские труды, посвященные рассмотрению различных проблем формообразования в дизайне: в некоторых развиваются общетеоретические/философские/искусствоведческие аспекты формотворчества; в ряде других исследуются проблемы формообразования определенных групп промышленных изделий, имеющих конкретную функционально-типологическую или технологическую специфику.

Следует отметить, что ни в одной из этих работ не изучаются специфические морфологические особенности формообразования перспективных *регулярных дискретных структур*- многогранных/складчатых, решетчатых и комбинированных систем,- способных эффективно использоваться в различных стратегически важных сферах: от быстровозводимых укрытий в зонах техногенных катастроф и военных конфликтов до трансформируемых космических шлюзов и солнечных батарей, от акустических звукорассеивающих экранов до жилых модульных орбитальных космических комплексов нового поколения.

Быстрыми темпами развивается производство изделий строительной индустрии; однако автором не обнаружено ни одного специального научно-исследовательского труда по дизайну технически эффективных и эстетически выразительных облицовочных элементов (акустических, фасадных и кровельных) интерьеров и экстерьеров современных жилых, общественных и промышленных зданий- данная важнейшая отрасль полностью выпала из поля зрения ученых сферы технической эстетики.

Таким образом, не подлежит сомнению безусловная актуальность соз-

дания специальных работ, расширяющих *инструментальный диапазон возможностей дизайнерского формотворчества*, т.е. генерирующих разработку новых алгоритмов, а также технически эффективных и эстетически выразительных форм различных классов с их последующей проектной адаптацией в различных отраслях/направлениях промышленного искусства. При этом абсолютно очевидна необходимость интенсивного развития формотворческой проблематики с углубленным изучением вопросов графического/компьютерного и объемного экспериментально-поискового моделирования/макетирования с использованием 3d-принтеров новых типов эффективных регулярных дискретных конструктивных структур, способных обозначить новые пути развития дизайна будущего.

Базовый идеологический принцип настоящего исследования- *принцип универсальности формы*. Он предполагает принципиальную возможность и равноценную эффективность использования какой-либо формы в различных, не связанных друг с другом областях дизайна. Действительно, какая-либо форма может быть одинаково применимой в различных сферах промышленного дизайна; при этом, имея различное функциональное назначение, она реализуется в разных материалах, имеет различные физические размеры, конструктивно-технологические качества и характеристики. Специфика настоящей работы заключается именно в том, что объект и предмет исследования изначально не связаны однозначно с какой-либо конкретной типологической категорией объектов дизайна.

Исходя из вышеизложенного, принципиальную методологию работы можно определить так: *«от какой-либо новой универсальной абстрактной формы- к спектру разнообразных по функции изделий/объектов дизайна на ее основе»*. Поэтому поиск новых конкретных сфер эффективного использования в дизайне предложенных автором абстрактных геометрических моделей, т.е. расширение перспективного функционального диапазона работы- одно из главных направлений представленного исследования. Следовательно, принципиальная идеологическая направленность работы- *абстрактные формотворческие поиски в дизайне* как методологическая и инструментальная ос-

нова конструирования разнообразных изделий с конкретной функциональной спецификой- является абсолютно правомерной, имея самостоятельную весьма значительную научно-практическую ценность.

В постоянном высококонкурентном межгосударственном соперничестве вывода орбитальных многомодульных и трансформируемых структур в космос, проектирования перспективных лунных поселений, освоения подземных пространств и подводных шельфовых зон, создания мобильных убежищ в районах стихийных бедствий и экстремальных природно-климатических условий новые эффективные типы *регулярных дискретных структур*, созданных с использованием передовых информационных технологий, по праву занимают одну из лидирующих позиций. Здесь значение стратегического приоритета в научно-изобретательских результатах с очевидностью выходит за рамки собственно научно-технологических проблем: можно смело утверждать, что теперь это вопрос государственного престижа и национальной безопасности в контексте мирового научно-технического прогресса. Все это обуславливает колоссальную практическую значимость обозначенного в работе научно-практического направления развития современного дизайна.

В конечном итоге реализация поставленных в работе задач позволит решить две взаимосвязанные научно-методические проблемы:

-оптимизировать творческие процессы проектирования изделий на основе предложенных новых формотворческих способов графического и объемного моделирования регулярных дискретных структур, раскрывающих ранее неизвестные эффективные технические и пластические возможности новых концептуальных разработок в различных сферах современного дизайна;

-дать в руки дизайнера новый морфологический инструментарий художественного и технического творчества- созданный автором и предложенный к практическому использованию комплекс новых геометрических моделей, потенциально перспективных для реализации их в различных областях современного дизайна.

Именно в этом заключается актуальность настоящего исследования.

**Область исследования** определена пунктом 12 научной специальности

17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн»: «Методы формообразования и структурообразования художественных и промышленных изделий», и полностью соответствует двум позициям формулы данной специальности: -«оптимизация творческих процессов проектирования изделий...»; -«формообразование и структуризация объектов проектирования».

**Объект исследования**- регулярные дискретные структуры различных морфологических классов как объекты потенциально перспективного использования в различных сферах и отраслях дизайна.

**Предмет исследования**- новые геометрические закономерности и особенности формообразования регулярных дискретных структур различных морфологических классов, потенциально перспективных для адаптации в профессиональном дизайнерском художественно-техническом творчестве, а также способы их графического и объемного моделирования.

**Границы исследования.** Работа ограничена выявлением научных геометрических закономерностей и особенностей построения комплекса новых регулярных дискретных структур различных морфологических классов с составной гладкой, многогранной, решетчатой или комбинированной (пластинчато-стержневой) оболочкой, а также созданием новых способов и приемов их графического и объемного моделирования. Анализируются технические и композиционные возможности результирующих структур в контексте их потенциальной эффективной практической реализации. При этом в диссертации не рассматриваются формы с иррегулярной (асимметричной /хаотической /неритмичной) структурой (среди них, например, сложные криволинейные бионические оболочки с нестабильной поверхностью), а также методы их моделирования, имеющие принципиально иную морфологическую основу формотворчества. Географические границы работы: РФ, ЕС, Китай, Индия, США, Япония. Хронологические рамки исследования: 1900-2000е гг.

**Теоретическая база диссертации.** Наиболее полно понять и раскрыть сущность проблемы позволило изучение теоретических, методических и инновационных работ, принадлежащих к пяти направлениям.

Первая группа работ- специальные диссертационные труды, рассматри-

вающие различные аспекты формообразования в дизайне- как теоретические основы морфологии так и функционально-типологическую специфику различных промышленных изделий (работы А.А.Базилевского, Т.В.Белько, Г.Б.Борисовского, Т.Н.Бытачевской, В.Н.Гамаюнова, А.А.Грашина, Т.С.Васильевой, В.Э.Волынскова, А.И.Затулий, Д.С.Кобзева, А.В.Корытова, Г.Н.Кузнецовой, О.И.Лексиной, А.Ю.Манцевич, И.Д.Маркеловой, М.Т.Майстровской, Д.Л.Мелодинского, Ю.В.Назарова, Г.И.Петушковой, Н.С.Пьянковой, Е.Ю.Рассоловой, В.Ф.Сидоренко, Т.Ю.Федоровой, М.А.Червонной, О.Р.Шумской и др.).

Вторая группа работ- общетеоретические, искусствоведческие, философские, конструктивно-технические и экспериментально-поисковые исследования по различным проблемам и аспектам формообразования (труды В.Г.Власова, Ю.П.Волчка, А.В.Ефимова, Е.В.Жердева, Е.К.Ивановой, В.Ф.Колейчука, А.Н.Лаврентьева, Ю.С.Лебедева, К.Е.Левитина, Л.Н.Лубо, Ф.Т.Мартынова, С.М.Михайлова, Ю.А.Плаксиева, Е.С.Пронина, Е.А.Розенблюма, Н.А.Сапрыкиной, Ю.С.Сомова, В.Г.Темнова, А.Г.Трущева, С.О.Хан-Магомедова, М.В.Шубенкова, О.Бюттнера (Buttner), Германия; Д.Эммери (Emmerich), Франция; Э.Оната (Onat), Турция; А.Колцвари (Kolozsvary) и Джодидио (Jodidio), Великобритания и др.).

Третья группа работ- труды по геометрическому моделированию многогранных/складчатых и решетчатых структур (работы Ю.А.Ачкасова, О.М. Вартаняна, А.И.Волкова, Н.А.Гоголевой, Г.М.Голова, В.В.Зубкова, Э.М.Кириенко, В.Ф.Колейчука, С.Н.Кривошапко, А.К.Купара, В.Е.Михайленко, Г.Н. Павлова, В.А.Сладкова, А.А.Тумасова, М.С.Туполева, А.Н.Фесана, А.Д.Ярмоленко и др.), а также Р.Б.Фуллера (Fuller), США; З.Маковски (Makowsky), Великобритания; Р.Пиано (Piano), Италия; З.Лагерпуша (Lagerpusch), Германия; П.Фростика (Frostick), Австралия; К.Миуры (Miura), Япония; А.Квормби (Quarmby) и В.Седлака (Sedlak), Великобритания; Р.Розмана (Rosman), Сербия.

Четвертая группа работ- фундаментальные труды по теории симметрии, теории плоских разбиений и кристаллографической геометрии, дающие обширный исходный материал для структурного моделирования различных регулярных дискретных форм в дизайне (работы Р.В.Галиулина, Б.Н.Делоне,

Е.А.Заморзаевой-Орлеанской, Е.С.Федорова, М.И.Штогрин, А.В.Шубникова и др.), а также Б.Грюнбаума (Grunbaum) и Дж.Шепарда (Shepard), США/Канада; А.Темешвари (Temesvari), Венгрия и др.

Пятая группа работ- патентные технические решения, раскрывающие новые способы структурного моделирования, а также эффективные результирующие формы регулярных дискретных структур в дизайне. Патентный поиск проведен по странам: Россия, Великобритания, США, Германия, Франция, Япония.

**Цель диссертации-** создание научно-методических основ геометрического формообразования новых технически эффективных регулярных дискретных структур различных морфологических классов как перспективных объектов дизайнерского творчества, и на этой платформе- разработка новых научно обоснованных проектно-изобретательских предложений по перспективному практическому применению комплекса полученных форм в различных отраслях и направлениях дизайна.

**Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:**

1) произвести систематизацию основных направлений, тенденций, концепций, геометрических алгоритмов, способов и морфологических особенностей формообразования регулярных дискретных структур, а также областей их эффективного использования в практике дизайнерского творчества;

2) установить геометрические закономерности и особенности графического и объемного моделирования комплекса новых регулярных дискретных структур с составной гладкой, многогранной, решетчатой или комбинированной (пластинчато-стержневой) оболочкой, потенциально перспективных для адаптации в профессиональном дизайнерском художественно-техническом творчестве;

3) разработать новые научно обоснованные проектно-изобретательские предложения по эффективному практическому применению комплекса полученных регулярных дискретных структур в различных отраслях и направлениях дизайна с использованием авторских способов графического и объемного моделирования.

**Методика исследования.** В процессе научных теоретических и поисково-экспериментальных исследований автором использованы:

-системно-структурный и сравнительный анализ (при определении этапов, творческих направлений, тенденций и концепций дизайнерского структурного формотворчества);

-фотофиксация проектных графических материалов и объемных моделей объектов дизайна;

-графо-аналитический метод (графический анализ особенностей объемного построения и возможностей переменных кинематических преобразований/трансформации исследуемых объектов);

-фундаментальные принципы теории симметрии, теории плоских разбиений и кристаллографии (при моделировании новых форм объектов дизайна, а также создании новых способов и приемов их геометрического построения);

-компьютерное моделирование и графика (при создании виртуальных 3d-моделей проектируемых объектов и их графической визуализации);

-экспериментально-поисковое макетирование и технологическая апробация опытных образцов (при проверке научных гипотез и создании новых проектно-изобретательских решений).

**Научная новизна работы состоит в следующем:**

1) произведена систематизация основных направлений, тенденций, концепций, геометрических алгоритмов, способов и морфологических особенностей формообразования регулярных дискретных структур, а также областей их эффективного использования в практике дизайнерского творчества;

2) установлены геометрические закономерности и особенности графического и объемного моделирования комплекса новых регулярных дискретных структур с составной гладкой, многогранной, решетчатой или комбинированной (пластинчато-стержневой) оболочкой, потенциально перспективных для адаптации в профессиональном дизайнерском художественно-техническом творчестве;

3) с использованием авторских способов графического и объемного моделирования разработаны новые научно обоснованные проектно-изобретатель-

ские предложения по эффективному практическому применению комплекса полученных регулярных дискретных структур в различных отраслях и направлениях дизайна.

**На защиту выносятся следующие научно-практические положения:**

1) систематизация основных направлений, тенденций, концепций, геометрических алгоритмов, способов и морфологических особенностей формообразования регулярных дискретных структур, а также областей их эффективного использования в мировой практике дизайнерского творчества;

2) установленные геометрические закономерности и особенности графического и объемного моделирования комплекса новых регулярных дискретных структур с составной гладкой, многогранной, решетчатой или комбинированной (пластинчато-стержневой) оболочкой, потенциально перспективных для адаптации в профессиональном дизайнерском художественно-техническом творчестве;

3) новые научно обоснованные проектно-изобретательские предложения по эффективному практическому применению комплекса полученных регулярных дискретных структур в различных отраслях и направлениях дизайна, разработанные с использованием авторских способов графического и объемного моделирования.

**Достоверность результатов работы** обеспечивается значительным объемом выполненных автором экспериментально-поисковых работ по графическому и объемному формообразованию (компьютерное моделирование, макетирование, опытные образцы). В работе использованы базовые положения отдельных фундаментальных научных теорий и дисциплин (теория симметрии, теория плоских разбиений, кристаллографическая геометрия и др.). Основные положения работы использованы в практике проектирования и строительства ряда действующих реализованных объектов средового и интерьерного дизайна, а также в изобретении и отработке промышленных технологий производства некоторых изделий строительной индустрии.

**Теоретическое значение полученных результатов** заключается в развитии методологической парадигмы *«от универсальной формы- к комплексу*

*изделий с различной функцией»*, а также обращении диссертанта к научным основам/фундаментальным научным закономерностям формообразования определенных классов *регулярных дискретных структур* в различных сферах дизайна, которые ранее не рассматривались в качестве перспективных объектов технической эстетики. В работе обозначены потенциально перспективные направления функционального использования полученных структур, в т.ч. впервые открытых автором новых классов форм. Приводятся новые методические основы их графического и объемного моделирования - созданные автором конкретные способы и приемы управления формой (ее получения и преобразования/трансформации), т.е. расширяется *инструментальная база* формообразования.

Следовательно, настоящая диссертационная работа создает *системную научную платформу* для дальнейшего изучения проблемы, стимулируя развитие новых направлений теоретических и экспериментальных поисков, а также раскрывая перспективные качества дискретных регулярных структур объектов дизайна будущего.

**Практическое значение полученных результатов.** Разработанные автором новые способы геометрического моделирования различных регулярных дискретных структур позволяют получать результирующие технические решения объектов дизайна с улучшенными конструктивными, технологическими и эксплуатационными свойствами (увеличенная жесткость при одновременном уменьшении площади поверхности, что обуславливает сокращение расхода материала и уменьшение теплотерь через оболочку; улучшенные акустические/звукорассеивающие качества; повышенная степень пакетируемости; комбинаторная/компоновочная вариабельность; возможность многократной кинематической трансформации формы и др.), что обуславливает их *высокую патентоспособность*, а также постоянное расширение диапазона направлений эффективного практического использования.

Разработанные автором методики экспериментально-поискового формообразования регулярных дискретных структур различных морфологических классов и широкое применение компьютерных средств при решении акту-

альных задач геометрического конструирования создают перспективы всеобъемлющего использования результатов диссертации в учебном процессе отечественных и зарубежных вузов, при выполнении научных исследований и создании профессиональных творческих работ, а также в промышленном производстве изделий различного функционального назначения.

Изложенные выше положения позволяют считать, что данное исследование решает комплекс важных научно-методических и практических/конструктивно-технологических проблем современного дизайна.

**Апробация и внедрение результатов работы.** Основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых периодических изданиях перечня ВАК РФ и патентах РФ, а также доложены на научных конференциях.

По предложению руководства корпорации «Роскосмос» автор участвует в реализации концепции так называемой «открытой архитектуры» *орбитальных многоцелевых модульных комплексов нового поколения*, решающих задачи организации космических поселений в условиях невесомости, а также в проектировании производственно-жилых лунных станций. [Предложенные автором комплексы способны многократно изменять конфигурацию путем перекомпоновки контурных модулей или быстрого отсоединения отдельных блоков. В рамках программы им также изобретена система максимально компактных *трансформируемых сооружений*: раскрывающиеся шлюзы для выхода в открытый космос и солнечные батареи, быстровозводимые покрытия производственных объектов лунных поселений и др.].

Авторские научные разработки, предпроектные концепты и изобретения в сфере современного дизайна экспонировались на международных выставках и ряде персональных выставок («Мир Стекла-2002», Москва, Экспоцентр; «СТВУН-2011», Сеул, Южная Корея, центр СОЕХ; «Природообразные конструкции» /СССР-ФРГ/, Москва, 1983, ЦНИИТИА; персональная выставка, посвященная XX-летнему юбилею РААСН, Москва, 2011, РААСН; выставка работ членов РААСН, 2012, МГСУ; саммит BRICS-2009 в Екатеринбурге, УралНИИпроект; «Иннопром-2011», Екатеринбург-ЭКСПО; персональная выставка, посвященная XXV-летнему юбилею РААСН, Москва, 2017, РААСН).

Научно-технологические разработки автора демонстрировались в зарубежных вузах (Технический университет, Грац, Австрия, 1991; Центр Искусств, Ла Тур-де-Пальц, Швейцария, 1994; Университет Мимара Синана, Стамбул, Турция, 1996; Академия строительства, Штутгарт, Германия, 1996; Университет Ореп, Милтон, Великобритания, 1996 и др.) и производственных фирмах («Canobbio S.p.A.», Милан, Италия, 1994; «Wolf-Systembau G.m.b.H.», Шарнштайн, Австрия, 1991; «GlasTrosch», Бюцберг, Швейцария, 2002 и др.).

Научно-методические разработки диссертанта по формообразованию новых типов складчатых оболочек, трансформируемых из плоскости, уже на протяжении более 35 лет используются в учебном процессе ряда ведущих вузов России: МАрхИ, УГТУ-УПИ/УрФУ, САИ/УрГАХУ (практические курсы по начертательной геометрии, а также объемному и графическому конструированию дискретных многогранных поверхностей).

Теоретические и экспериментальные научные результаты настоящей работы используются в 12 странах мира в процессе профессионального дизайнерского творчества (проектные бюро, научно-производственные компании, мастерские и др.), а также в учебном процессе ряда российских и зарубежных университетов.

Ряд научно-практических разделов диссертации выполнен в русле государственных программ и поддержан грантами Минстроя РФ и РААСН, имеющими государственную регистрацию (-Грант 2013-2015гг. Тема: «Закономерности формообразования инновационных архитектурных оболочек»; отчеты по НИР: № гос. регист. 01201352761; заключительный отчет 2015г.: № гос.регист. АААА-В17 -21705044 0115-8; -Грант 2016-2017гг. Тема: «Региональные особенности и общие закономерности развития архитектуры высотных зданий»; отчеты по НИР: № гос.рег. АААА-А16-116103150028-6; заключительный отчет 2017г.: № гос.регист. АААА-В18-218031 500052-5; -Грант 2018-2019гг. Тема: «Композиционные компоненты пластической выразительности современной имиджевой архитектуры»; отчет по НИР: № гос.регистр. АААА-А18-118042 890019-5).

С использованием теоретических положений настоящей работы диссер-

тантом разработаны и реализованы дизайнерские концепты общественных и частных интерьеров: уникальный складчатый акустический потолок концертного зала и вестибюля Камерного театра (в соавт.), Екатеринбург, 1997; интерьер столовой Уральского государственного педагогического университета, Екатеринбург, 1990; интерьеры спортивного комплекса «RINGS», Екатеринбург, 2002-2008; интерьеры виллы «Muzakki», Рас-Эль-Хайма, Объединенные Арабские Эмираты, 2007-2008 и др.

С использованием собственных конструкторских разработок автором диссертации реализованы проекты различных объектов средового дизайна в ряде городов Свердловской, Челябинской, Тюменской и Пермской областей.

Новые эффективные решения составных регулярных дискретных структур различного очертания и назначения в рамках настоящего исследования защищены автором более чем тридцатью патентами РФ на полезные модели и промышленный образец.

За разработку и внедрение эффективных изобретательских решений регулярных дискретных структур в сфере дизайна и архитектуры диссертант награжден знаком Госкомизобретений СССР «Изобретатель СССР» (1989), а также удостоен государственной награды- почетного звания «Заслуженный изобретатель Российской Федерации» (1994).

**Личное участие автора.** Автору принадлежит основная научная идея и логика структурного построения работы, обоснование выбора объекта исследования, разработка всех ключевых теоретических положений, постановка опытов по экспериментально-поисковому моделированию, обобщение полученных результатов. *Во всех представленных публикациях, включая патенты, диссертант является единственным автором.*

**Структура и объем работы.** Диссертация выполнена в одном томе, включающем текстовую часть на 269 страницах (введение, три главы, заключение, список использованной литературы из 383 наименований), а также последующее иллюстративное приложение на 150 страницах (~1000 изображений). Общий объем работы- 419 страниц.

**Во введении** раскрыта актуальность темы; сформулированы цель и за-

дачи диссертации; определены объект, предмет, границы и методика исследования; освещены научная новизна работы и положения, выносимые на защиту; отражена теоретическая и практическая ценность полученных результатов; изложены данные по апробации и внедрению результатов работы.

**В первой главе «Развитие регулярных дискретных структур в дизайне: морфологическая типология и формотворческие направления»** автором разработана морфологическая классификация основных типов регулярных дискретных структур; изложен системный анализ различных научных подходов и направлений, творческих концепций и парадигм, методов и схем формообразования, а также перспектив практического использования регулярных дискретных структур в практике дизайнерского творчества различных промышленных отраслей и стран.

**Во второй главе «Научно-методические основы геометрического моделирования новых регулярных дискретных структур различных морфологических классов»** изложены установленные диссертантом геометрические закономерности и особенности графического и объемного моделирования комплекса новых форм с составной гладкой, многогранной, решетчатой или комбинированной (пластинчато-стержневой) оболочкой, в т.ч. впервые открытых автором и потенциально перспективных для адаптации в профессиональном дизайнерском художественно-техническом творчестве.

**В третьей главе «Перспективы практического использования полученных регулярных дискретных структур в различных сферах дизайна»** изложены новые научно обоснованные концептуальные, проектные и изобретательские авторские предложения по эффективному практическому использованию комплекса полученных форм в различных отраслях, функционально-типологических группах и направлениях современного дизайна.

**В заключении** подведены итоги работы, изложены общие выводы и намечены перспективные направления дальнейшего развития теоретических и экспериментально-поисковых аспектов данной научно-творческой проблематики в контексте стратегии социально-культурного и технологического прогресса XXI века.

## ГЛАВА 1.

### Развитие регулярных дискретных структур в дизайне: морфологическая типология и формотворческие направления

#### 1.1. Принцип «универсальности формы» в дизайне и морфологическая классификация регулярных дискретных структур

«Базовый идеологический принцип, положенный автором в основу инструментальных поисков в сфере дизайна- *принцип «универсальности формы»*. Он предполагает принципиальную возможность и равноценную эффективность использования какой-либо абстрактной формы в различных, не связанных друг с другом областях технической эстетики.

В соответствии с этим принципом какая-либо форма может быть одинаково применимой в различных сферах промышленного, средового, интерьерного дизайна; при этом, имея различное функциональное назначение, она реализуется в разных материалах, имеет различные физические размеры, конструктивно-технологические качества и характеристики.

Специфика настоящей работы заключается именно в том, что форма как морфологическая категория изначально не связывается жестко с какой-либо конкретной функционально-типологической группой продукции дизайна.

Исходя из вышеизложенного, принципиальную методологию настоящей работы можно определить так: *«от какой-либо новой универсальной абстрактной формы- к спектру разнообразных по функции изделий/объектов дизайна на ее основе»*.

Многофункциональный потенциал абстрактных геометрических моделей служит основой *сценарного проектирования* в дизайне. Безусловная правомерность и перспективность предложенного автором подхода отражена в книге «Власть дизайна» цитатой Эдварда де Боно: «Мы продвинулись далеко вперед в науке и технологиях, но не в своем поведении. В прошлом тысячелетии мышление всегда было связано с вопросом «что это такое?». Это мышление, основанное на анализе, критике и аргументации. А вот мышление, связанное с вопросом «*чем это могло бы быть?*» (с созданием ценности), у нас практически совсем не развито. А ведь именно такое мышление является творческим и

конструктивным. Именно это мышление помогает в разрешении конфликтов и решении проблем, проектируя движение вперед. И главное здесь именно проектирование, то есть дизайн» [28, С.141; курсив автора].

Представить наиболее характерные примеры многофункционального использования абстрактных/универсальных *регулярных дискретных структур* различных морфологических классов в дизайне, а также произвести общую морфологическую систематизацию таких структур- задача настоящего раздела работы.

Проявление принципа «универсальности формы» в дизайне автор демонстрирует на показательных примерах многофункционального практического использования собственных формотворческих разработок.

Так, в 2000г. им была опубликована четырехзвенная конструкция трубчатой опоры, каждое звено которой имеет квадратные основания и образовано однотипными четырехугольными оболочками формы гиперболического параболоида, состыкованными по боковым наклонным кромкам по принципу поворотной симметрии вокруг продольной оси (на рисунке 1,а изображены два соосных звена такой конструкции, имеющие форму «скрученных» призм, состыкованных по квадратным основаниям).

Далее, в 2003г. на основе одного звена вышеописанной формы автором была создана и опубликована остекленная оболочка высотного здания (одно из ее изображений приведено на рисунке 1,б). А в 2006г. обнаружилось, что фирма «Lancome» начала массовый выпуск духов «Нурпозе» во флаконах (рисунок 1,в), форма которых полностью соответствует вышеописанному звену из четырех гипаров, опубликованному автором ранее.

Но этим дело не ограничилось: в конце 2010-х китайская фирма «Mo Fang Ge» начала массовый выпуск трансформируемого детского конструктора «Twisty Skewb» (рисунок 1,г), имеющего форму «скрученного» куба, абсолютно аналогичную предложенному автором в 2000г. звену из четырех гиперболических оболочек. А в 2018г. на московском чемпионате мира по футболу аналогичная трубчатая форма из четырех гипаров была использована в качестве парадного постамента для мяча, представленного к соревнованиям.

Рассмотренные выше примеры с очевидностью показывают универсальность/многофункциональность полученной автором формы из четырех гиперов, состыкованных в кольцо вокруг оси (на сегодня ее раскрытый функциональный диапазон: «строительная опора» + «оболочка здания» + «парфюмерный флакон» + «детский конструктор» + «скульптурный постамент»). Безусловно, это далеко не полный перечень отраслей, где полученная форма может эффективно использоваться в самых разнообразных объектах, все более и более раскрывая свой функциональный потенциал.

В 2003г. автором была опубликована форма высотного здания в виде конической спирали с боковыми геликоидальными поверхностями, очерковые/контурные спиральные ребра которых пересекаются в осевой вершине (рисунок 1,д). А посетив Баку в 2012г., автор запечатлел скульптуру средового дизайна/стеллу с таким же обликом (рисунок 1,е), возведенную в 2010-е годы.

В 1982г. была опубликована созданная автором и защищенная авторским свидетельством СССР на изобретение № 975961 складчатая тонкостенная панель, включающая чередующиеся зигзагообразные полосы из параллелограмматических и прямоугольных пластин, соединенных по боковым кромкам (рисунок 2,а). Данную форму панели предполагалось применять в качестве гофрированных листов многослойных конструкций типа «сэндвич», а также крупноскладчатых навесных фасадов.

В 1997г. эта форма с участием автора была использована уже по новому назначению- в качестве сборного крупноскладчатого звукорассеивающего потолка концертного зала и фойе Камерного театра г.Екатеринбурга (рисунок 2,б-в). Однако во время посещения Баку автор встретил точно такую же форму в качестве сборной фасадной стеклянной оболочки (рисунок 2,г) одного из общественных зданий, возведенного в 2010-е годы.

В 1984г. автором была опубликована составная многозвенная трубчатая оболочка из состыкованных по квадратным основаниям антипризм, боковая поверхность которых включает одинаковые равнобедренные треугольники, а также схема образования типовой антипризмы путем поворота квадратных оснований прямой призмы относительно друг друга (рисунок 2,д). Данная форма

предлагалась к использованию в качестве трубчатой опоры со складчатой боковой поверхностью или многогранной оболочкой высотного здания.

Однако, спустя 27 лет- в 2011г., в сети Интернет был выставлен проект высотного здания «Diagonal Tower» для Сеула, Южная Корея, выполненный фирмой «SOM» (США), полностью повторяющий форму опубликованной автором многогранной оболочки, а также авторскую схему образования формы путем разворота квадратных оснований звеньев-антипризм (рисунок 2,е).

Также широкий многофункциональный спектр практического использования имеют известные во всем мире классические выпуклые и звездчатые многогранники (рисунок 3,а)- от крупноразмерных остекленных оболочек высотных зданий до детских игрушек. Например, в форме ромбокубооктаэдра выполнена стеклянная оболочка Национальной библиотеки Республики Беларусь в Минске (рисунок 3,б), а сложные звездчатые многогранники (рисунки 3,в-г) являются оболочками зданий проекта «Superstar» для разных стран (архитектурное бюро «MAD», Китай). Одновременно аналогичные звездчатые формы с регулярной структурой эффективно используются в качестве бумажных изделий типа «оригами» (рисунок 3,д) при обучении этому сложному искусству. Имеются примеры использования подобных форм в качестве оболочек светильников, сувениров, развивающих конструкторов и упаковки.

В 2000г. автором была опубликована изоэдральная сферическая разбивка на шесть равных четырехлучевых/крестообразных звездчатых элементов, очерченных геодезическими дугами (рисунок 4,б), полученная путем дополнительного подразделения исходной центральной проекции куба на поверхность сферы (рисунок 4,а). А в 2014г. к чемпионату мира по футболу дизайнерами фирмы «Adidas» был создан мяч «Brazuka» (рисунок 4,г-д), где авторская звездчатая сферическая разбивка нашла свое практическое воплощение в слегка переработанном виде- угловые вершины шести одинаковых крестообразных элементов были сглажены (рисунок 4,в).

В 2005г. автором был опубликован проект высотного здания, противолежащие оболочки которого выполнены в виде вертикально расположенных отсеков однополостного гиперболоида, очерченных попарно равными проти-

волежащими плоскими дугами; причем дуги одной пары выполнены параллельными, а дуги другой пары выгнуты навстречу друг другу и компланарны (рисунок 4,е). А в 2011г. в сети Интернет был опубликован победивший в международном конкурсе проект железнодорожного вокзала в Астане, Казахстан, выполненный архитектурным бюро «Студия-44», г.Санкт-Петербург (руководитель Явейн Н.И.) и включающий аналогичную авторской гиперболическую усеченную оболочку, только расположенную горизонтально в качестве покрытия зала (рисунок 4,ж).

Таким образом, рассмотренные выше примеры позволяют сделать абсолютно очевидный и однозначный вывод- *абстрактные форматворческие поиски в дизайне*, как методологическая и инструментальная основа конструирования изделий с самой разнообразной функциональной спецификой, выделяются в самостоятельное направление, представляющее весьма значительную научно-практическую ценность.

В связи с этим возникает актуальный вопрос создания *морфологической систематизации регулярных дискретных структур* с выявлением наиболее востребованных, функционально универсальных, технологичных и технически эффективных классов форм.

Проведенные исследования позволили создать такую систематизацию, изложенную ниже. В основу классификационного подразделения положен методологический принцип *геометрической и структурной однородности морфологических качеств* какой-либо группы рассматриваемых объектов. В соответствии с разработанной классификацией все регулярные дискретные структуры, имеющие перспективы многофункционального эффективного использования в дизайне, подразделены на 7 групп. [Следует отметить, что из множества типов существующих и потенциально возможных регулярных дискретных структур автором отобраны лишь эти семь как наиболее значимые в практическом отношении].

***1.Изоэдральные сферические структуры.*** Объектами данной группы являются изоэдральные/равноэлементные сферические разбивки; при этом одинаковые/зеркально равные элементы-отсеки сферы могут быть очерчены

геодезическими плоскими кривыми, а также произвольными плоскими или неплюскими кривыми различного очертания (рисунок 5.1).

Сами элементы паркетирования поверхности сферы могут быть по конфигурации выпуклыми или невыпуклыми, а также многолучевыми/звездчатыми. В основу формотворческой технологии образования изоэдральных сферических разбиений положены вариативные дополнительные подразделения исходных разбиений- центральных проекций равноэлементных многогранников на поверхность сферы. Кроме того, в работе рассмотрены алгоритмы получения производных звездчатых и сотовых многогранников с центрической структурой на основе созданных исходных изоэдральных сферических разбиений различных типов.

**2.Складчатые структуры.** Объектами данной группы являются многоэлементные складчатые поверхности/оболочки, образованные плоскими, цилиндрическими или коническими гранями-отсеками различной конфигурации, соединенными по кромкам (рисунок 5.2).

Полная морфологическая типология складчатых поверхностей определяется следующими качествами: а- свойством всей складчатой поверхности полностью совмещаться с плоскостью/развертываться на плоскость; б- свойством неразвертываемых на плоскость складчатых структур трансформироваться в плотный пакет; в- свойством замкнутых трубчатых оболочек складываться в плотный пакет; г- геометрией составляющих граней и количеством их типоразмеров; д- числом направлений складкообразования (по одной, двум или трем координатным осям); е- очертанием складчатой поверхности (плоскостное, сводчатое, куполообразное, гиперболическое, сложное); ж- характером симметрии складчатой поверхности; з- прерывистостью (наличием сквозных проемов) или полной непрерывностью поверхности.

**3.Решетчатые структуры.** Объектами данной группы являются составные жесткие или трансформируемые сквозные решетки из стержней/труб или пластин/полос/ребер, соединенных в узлах (рисунок 5.3).

Сквозные ребристые структуры могут по одной из сторон соединяться с плоскими или изогнутыми плитами, образуя кессонные/ячеистые системы. В

топологическом отношении решетчатые системы могут быть: а- однослойными (простейшие решетки); б- многослойными/многопоясными; в- ветвистыми. В ячейки сквозных структур могут помещаться различные плоские грани, многогранные отсеки или отсеки криволинейных поверхностей с аналогичным контуром. Элементы сквозной структуры (пластины/полосы/ребра) также могут быть выполнены в виде отсеков различных криволинейных поверхностей. Общее очертание решетчатых оболочек может быть плоскостным, сводчатым, куполообразным, гиперболическим, сложным. Регулярная структура решетчатых систем может иметь различный тип симметрии.

**4. Квазимногогранные структуры.** Объектами данной группы являются центрические замкнутые структуры, имитирующие форму плоскогогранных многогранников и составленные из отсеков криволинейных поверхностей, соединенных по кромкам (рисунок 5.4). На приведенном рисунке показаны гиперболический тетраэдр, гиперболический икосаэдр, гиперболический куб, гиперболический додекаэдр и гиперболический октаэдр [44, С.504], составленные из вогнутых отсеков поверхностей двоякой положительной кривизны.

Вместе с тем квазимногогранные структуры могут быть образованы одинаковыми/зеркально равными отсеками линейчатых поверхностей отрицательной гауссовой кривизны (гипара, коноида, геликоида).

**5. Составные линейчатые структуры.** Объектами данной группы являются составные структуры, образованные одинаковыми/зеркально равными отсеками линейчатых поверхностей отрицательной гауссовой кривизны (гипара, коноида, геликоида, однополостного гиперболоида) и имеющие плоскостное, сводчатое, куполообразное/пирамидальное, трубчатое, гиперболическое и более сложное очертание (рисунок 6.5). Тип симметрии, характер поверхности (сплошная, с проемами), взаимное расположение и соединение элементов (вершинами, по ребрам, врезкой) может варьироваться.

**6. Пластинчато-стержневые/комбинированные структуры.** Объектами этой группы являются составные жесткие или трансформируемые конструктивные системы, в которых многоэлементные блоки из многогранных или криволинейных отсеков соединены со сквозными решетчатыми структурами

или единичными трубчатыми/ребристыми/стержневыми элементами (рисунок 6.6). Общая конфигурация, тип симметрии, элементный состав многогранных блоков и решетчатых структур, их взаимное расположение, а также тип соединения (по вершинам или ребрам) могут варьироваться в широких пределах и различных сочетаниях.

**7.Замкнутые многогранные структуры.** Объектами группы являются замкнутые многогранники, имеющие выпуклую или невыпуклую регулярную поверхность, а также их конгломераты (рисунок 6.7).

Особое внимание уделено рассмотрению центрических многогранников, в т.ч. классических (правильные, полуправильные, звездчатые), а также производных многозвенных/цепных составных структур на их основе, имеющих пилонное/трубчатое очертание или многоячеистую конфигурацию. Исследуются антипризмы (в т.ч. «скрученные»), антипирамиды, бипирамиды, призматоиды, производные/модифицированные многогранные структуры различных форм.

Совокупность регулярных дискретных структур всех 7 вышеперечисленных групп, ограничивает *объект* настоящего исследования» [334].

«Установление новых и разнообразных сфер эффективного использования предложенных в работе абстрактных геометрических моделей, т.е. *расширение их перспективного функционального диапазона* - одно из главных условий успешной практической реализации раскрытого автором формотворческого потенциала регулярных дискретных структур в дизайне.

Поэтому в заключительной части параграфа автором систематизированы основные области эффективного использования регулярных дискретных структур в промышленном, средовом и интерьерном дизайне:

1- модульные структуры орбитальных космических комплексов нового поколения в рамках концепции «открытой архитектуры» (свободнолетающие жилые многоблочные орбитальные станции в околоземном космосе, способные произвольно менять пространственную конфигурацию при вариативной стыковке блоков); космические сферические капсулы/летательные аппараты (жилые, грузовые, спутники связи);

2- сборно-разборные многомодульные жилые структуры в экстремальных средах и зонах Земли (полярные территории, подводные шельфовые прибрежные зоны, подземное пространство, пустыни и т.п.), а также критических условиях (техногенные и природные катастрофы, военные конфликты и др.); жилые блочные поселения (военные и геологоразведочные) в труднодоступных районах; жилье со специфической модульной/сотовой объемно-планировочной структурой, в т.ч. на сложном рельефе;

3- трансформируемые быстровозводимые сооружения малых и средних пролетов (палатки, укрытия, ангары и временное жилье в районах газовых и нефтяных месторождений, зонах стихийных бедствий и массовой миграции населения; покрытия производственных площадок и сооружений лунных добывающих комплексов);

4- трансформируемое оборудование, гибкие гофрированные поверхности, в т.ч. замкнутые трубчатые (развертывающиеся космические шлюзы и галереи, а также солнечные батареи и радиотелескопы с максимальной степенью пакетируемости; коленные и локтевые участки космических скафандров);

5- кристаллографические и ячеистые/решетчатые декоративные и солнцезащитные оболочки фасадов современных имиджевых зданий и сооружений (в т.ч. трансформируемые структуры-жалюзи и многогранные витражи);

6- решетчатые навесные структуры экстерьерного и интерьерного светодизайна (в т.ч. из неоновых или светодиодных трубок и др.);

7- малые формы средового дизайна (абстрактные скульптуры- фирменные знаки/стеллы, фонтаны, театральные декорации и сценические элементы в интерьерах при оформлении спектаклей/шоу и телестудий, рекламно-выставочные модули/экспозиционное оборудование, ширмы, рестораны, киоски, выставочные и торговые павильоны, навесы, в т.ч. транспортных сооружений, входные группы, крытые галереи, переходы, мосты, наружные вентиляционные установки и др.);

8- развивающие сборные и трансформируемые конструкторы/учебные пособия в школах и университетах на занятиях по геометрии и композиционному конструированию; объемные демонстрационные учебные пособия;

- 9- игрушки (в т.ч. елочные; сборные конструкторы для детей и др.);
- 10- упаковка для товаров (в т.ч. декоративная трансформируемая, формируемая или литая; парфюмерные флаконы и др.);
- 11- изделия одежды (плиссированные юбки и шарфы, детали карнавальных костюмов, головные уборы и проч.) и аксессуары (галстуки, в т.ч. «бабочки»; пуговицы, веера, маски и т.п.);
- 12- формы пищевых продуктов (шоколадных плиток, печенья, пирожных, тортов, конфет, хлебобулочных изделий и др.);
- 13- формы разнообразных изделий ювелирного и камнерезного искусства (кольца, браслеты, шкатулки, кулоны, гарнитуры, вазы и др.);
- 14- акустические оболочки в зальных общественных интерьерах (многослойные поглощающие ячеистые конструкции; складчатые и решетчатые звукокорректирующие экраны стен и потолков);
- 15- спортивные мячи (футбольные, баскетбольные, теннисные и др.);
- 16- абажуры, лампы, фонари и оболочки/лицевые панели бытовых и промышленных светильников;
- 17- сувениры (в т.ч. трансформируемые и разборные);
- 18- строительные несущие элементы массового промышленного производства (покрытия- купола и своды; структурные плиты; элементы каркаса- опоры, фермы, балки, арки; многослойные плиты типа «сэндвич» и др.); навесные ограждающие и несущие стеновые оболочки строительных объектов - спортивных и цирковых арен, транспортных, выставочных и зрелищных сооружений, оранжерей и др.);
- 19- модульные облицовочные элементы строительной индустрии (черепица штучная или листовая; литые/вырезные стеновые и потолочные панели и плитки; штампованные/гнуемые/экструзионные профили и листы; листовая металлическая рельефная опалубка и др.);
- 20- гидротехнические промышленные объекты (плотины, резервуары/водонапорные башни, охладители/градирни и др.);
- 21- сферические укрытия радаров связи и слежения (исследовательских и пограничных, наземных и корабельных) и астрономических обсерваторий;

- 22- промышленные сферические газгольдеры;
- 23- решетчатые и рельефные элементы мебели, мебельная фурнитура;
- 24- открытки, конструкторы и объемные изделия книжной полиграфии (складывающиеся иллюстрации) из бумаги, картона и пластика;
- 25- объемные фрагменты/элементы картин, скульптур и других произведений изобразительного, монументально-декоративного и прикладного искусства (барельефы, монументы, постаменты, колонны, подиумы, в т.ч. складчатые или решетчатые и т.д.);
- 26- защитные кожухи/оболочки, панели (в т.ч. многослойные) и перегородки динамических и статических машин/механизмов.

Представленная отраслевая систематизация не может считаться окончательно завершенной и в процессе дальнейших исследований возможностей регулярного дискретного структурирования в дизайне будет дополняться новыми направлениями и группами функциональной типологии» [343].

## **1.2. Анализ современных направлений формообразования и экспериментально-поисковых разработок в дизайне**

«Анализ доступных диссертанту научных работ, посвященных актуальной теме «*Формообразование в дизайне и архитектуре*», позволил систематизировать их и подразделить на несколько групп по конкретной объектной, методологической и технологической специфике.

Так, формотворчество в контексте развития композиционно значимых пластических и тектонических качеств промышленных изделий, а также общетеоретические/философские аспекты эстетического формообразования в дизайне изложены в работах Ф.Т.Мартынова [54], Ю.В.Назарова [59], Е.А.Розенблюма [67], В.Ф.Сидоренко [69] и Ю.С.Сомова [71]. Особенности формотворческого прогнозирования в дизайне как методологической основы творческого проектного процесса посвящена работа М.А.Червонной [81].

Труды В.Ф.Колейчука [40]-[41], В.Н.Гамаюнова [21], Г.Б.Борисовского [9], Ю.С.Лебедева [39], А.Г.Трущева [73], Н.А.Гоголевой [23], Р.И.Гольцевой [24], Г.М.Голова [25], В.В.Зубкова [33], С.Н.Кривошапка [44], А.К.Купара [46], Л.Н.Лубо [50], Г.Н.Павлова [61], Н.А.Сапрыкиной [68], В.А.Сладкова

[70], А.А.Тумасова [74], М.С.Туполева [75], А.Н.Фесана [79], О.Бюттнера [11], а также работы [2], [86]-[88], [90], [92], [94], [100], [103]-[105], [108]-[109], [112]-[113], [115]-[119], [121]-[123], [125] освещают отдельные направления и способы конструктивно-геометрического моделирования различных типов регулярных дискретных структур, а также разработку конкретных технически эффективных форм строительных объектов и изделий дизайна различных функционально-типологических групп на их основе. Эти научно-творческие исследования отличает большая практическая ценность: здесь перекинут мостик от идеи/теории/методики к ее практической реализации.

Принципы унификации, стандартизации и модульной комбинаторики как основы формотворческой методологии изложены в работах А.А.Грашина [26] и Е.С.Пронина [64]. Возможности современных информационных технологий в современной архитектуре и дизайне отражают работы В.Э.Волынского [19] и А.Н.Лаврентьева [47].

В работах Е.К.Ивановой [34-35], О.И.Лексиной [49], Ю.П.Волчка [18], Т.Н.Бытачевской [10], С.О.Хан-Магомедова [80], а также трудах [89], [93], [101]-[102] показаны характерные особенности и приемы моделирования различных типов регулярных дискретных структур, отмеченные в творчестве знаменитых мастеров зарубежной архитектуры и дизайна- А.Гауди, П.Л.Нерви, Р.Саржера, С.Калатравы, Ф.Канделы, М.Эшера, З.Хадид, Р.Б.Фуллера, а также мастеров советского авангарда- В.Г.Шухова, В.Е.Татлина, К.С.Мельникова, Я.Г.Чернихова, И.И.Леонидова и др.

В трудах Т.В.Белько [6], Т.С.Васильевой [12], А.И.Затулий [32], А.Ю.Манцевич [52], И.Д.Маркеловой [53], Г.И.Петушковой [62] исследованы различные аспекты формообразования в сфере дизайна одежды.

Возможности бионического формообразования применительно к изделиям ювелирной промышленности раскрыты в работе А.В.Корытова [43].

Особенности формообразования ювелирных изделий в контексте развития различных стилистических направлений дизайна одежды определены в исследовании Е.Ю.Рассоловой [66].

В трудах А.В.Ефимова [29], Г.Н.Кузнецовой [45], М.Т.Майстровской [51], С.М.Михайлова [58], Н.С.Пьянковой [65], О.Р.Шумской [84] исследуются вопросы формообразования элементов средового дизайна градостроительных структур, общественных, жилых архитектурных объектов, а также интерьеров.

Влияние применяемых промышленных технологий на морфологию изделий отражено в работах А.А.Базилевского [5] и Д.С.Кобзева [38].

Проблемы современного концептуального формообразования в контексте развития принципов архитектурной пропедевтики ВХУТЕМАСа и Баухауза освещены в работе Д.Л.Мелодинского [55].

Собственно возникновению, становлению и развитию формообразования в дизайне и архитектуре как инструмента художественно-технического творчества с выделением принципиальных направлений моделирования формы посвящена лишь специальная диссертационная работа Т.Ю.Федоровой [78]. В ней произведен обстоятельный ретроспективный анализ более чем вековой эволюции основных направлений, схем и приемов экспериментального дизайнерского формотворчества, качественные характеристики которых определяются развитием и быстрой сменой художественно-технологических парадигм и социальных стратегий в различные исторические периоды. Именно поэтому данное исследование в контексте настоящей диссертации анализируется наиболее подробно.

Так, в рассматриваемой работе отмечается, что в эпоху модерна получили развитие следующие тенденции формотворчества: -развитие широких возможностей стилизации как метода формообразования; -обращение к природным мотивам; -обращение к мифологическим, фантастическим и сказочным сюжетам; -разложение формы на ряд простейших геометрических фигур-«типоэлементов»; -осознание художественной ценности конструкции; -приоритетная разработка композиционно активных, выразительных, динамичных форм как эмоционально-символических акцентов [78, С.7].

Указывается, что советский авангард 20-х годов установил следующие тенденции развития экспериментального формообразования: -обобщенная геометризация формы с установлением ее «первоэлементов»; -выявление ху-

дожественной ценности конструкции как тектонической основы формотворчества; -сформулированы средства и приемы композиционного моделирования, составившие базу всемирно известной отечественной архитектурной пропедевтической школы [там же, С.8]. Выявлено, что художественные поиски середины и конца XX века определили следующие тенденции развития экспериментального формообразования: -произошёл поворот к экологичности и этнокультурной идентичности; -обозначился метод кинетического формообразования; -моделирование на основе модульности, комбинаторики и унификации; -бионическое формообразование на основе органических форм; -эко-культурные концепции, основанные на взаимосвязи традиции и инновации; -новаторские эксперименты с конструкцией и материалами как принципиальная основа формотворчества; -широкое использование информационных технологий в процессе моделирования сложных форм [там же, С.10,12,14].

В заключительной части работы представлен ее главный пункт- классификация экспериментальных методов формообразования в дизайне [там же, С.17-19]. В соответствии с ней автор группирует методы по времени возникновения (модернизм/постмодернизм), а также по степени сложности (простые и сложные). Указано, что «первоэлементы» формы определили язык формообразования. К ним можно отнести точку, линию, плоскость, простейшие объемы (сферу, цилиндр, куб, шар, тор, конус, пирамиду). К простым методам формотворчества относятся следующие операции с «первоэлементами».

1. Формообразование путем многократного повтора линий. Многократное повторение линий приводит к возникновению плоскости. Повторение линии по заданной пространственной траектории может привести к появлению большого разнообразия объёмных форм. 2. Формообразование прямыми плоскостями, многократный повтор которых приводит к созданию объёмной формы. Варьируя силуэты повторяющихся плоскостей, можно создавать достаточно сложные по конфигурации объёмные формы.

3. Формообразование криволинейными поверхностями, где перемещение криволинейных изогнутых отсеков вдоль криволинейных направляющих приводит к образованию сложной криволинейной формы.

4. Формообразование на основе базовых форм. Простые геометрические объёмы могут сложить базой для создания более сложных форм путем использования таких приёмов как изгиб, вычитание, срез, скручивание, изменение пропорций формы (выдавливание/сдавливание/растягивание), переход одной формы в другую (пересечение/исключение при пересечении/сложение при пересечении), сопряжение форм, наложение форм, свободная деформация.

К сложным методам формообразования автор относит: -формообразование на основе экспериментов с материалами; -стилизация как метод формообразования; -кинетическое формообразование; -формообразование на основе органических форм; -комбинаторное/модульное/структурное формообразование; -конструкция как метод формообразования; -концептуальное формообразование; -метафора как метод формообразования; -сенсibiliзация формы как принцип формообразования; -семантические концепции формы; -коммуникативное формообразование; -эвристическое формообразование; -сценарно-прогностическое формообразование; -формообразование на основе цифровых технологий.

Отмечая основательность работы Т.Федоровой в целом и полноту охвата изложенных в ней различных направлений формотворчества в дизайне и архитектуре, необходимо указать на то, что некоторые геометрические/инструментальные разделы разработанной ей классификации сформулированы недостаточно развернуто; при этом не указан ряд актуальных направлений геометрического и физического моделирования, а трактовки некоторых обозначенных формотворческих направлений (например, «концептуальное формообразование», «коммуникативное формообразование», «метафора как метод формообразования», «сенсibiliзация формы») не получили должной ясности и конкретизации.

В настоящей диссертационной работе произведена углубленная систематизация принципиальных направлений морфологического моделирования в дизайне с упором на *геометрические инструменты абстрактного формотворчества* (методологии и способы геометрического конструирования) с демонстрацией их некоторых специфических качественных особенностей. Также

изложены наиболее значимые социально-технические стратегии, мотивационные идеологические установки и особые художественные парадигмы, которые в ряде случаев являются определяющими факторами процесса моделирования и выбора конкретной формы объекта.

### ***1. Модификация/преобразование исходного прототипа.***

*1.1. Параметрическое или алгоритмическое преобразование/деформация конфигурации всей структуры или ее фрагментов без изменения топологии /связности структурных элементов.*

В рамках данного направления осуществляется свободное преобразование параметров узлов поверхности над заданной модульной сеткой плана, что обуславливает деформацию ее конфигурации операциями сжатия-растяжения, искривления (изгиб, излом, сдвиг, кручение и др.), в т.ч. с изменением гауссовой кривизны. Так, например, форма поверхности, имеющей остроугольный радиальный план (рисунок 7,а), преобразуется путем изменения высот контурных и внутренних точек с получением различных пространственных вариантов (рисунки 7,б-в). Такая же схема параметрического преобразования оболочки на квадратном плане представлена в двух вариантах на рисунках 7,г-д.

Параметрическое формообразование также может предусматривать построение формы оболочек по заданным контурным и серединным очерковым линиям; в данном случае математический алгоритм производит построение участков гладкой поверхности между заданными элементами формы.

Так образована поверхность гладкой оболочки на квадратном плане (рисунок 7,е), имеющей изначально заданные контурные линии в виде двух пар противоположащих плоских зеркально симметричных синусоид и верзьер, а серединную контурную линию, соединяющую вершины верзьер- в виде параболы. Координаты точечного каркаса поверхности над заданной формой плана определяются соответствующей компьютерной программой. Изменяя заданные параметры формы (характер и тип контурных линий), можно легко изменять/корректировать и всю ее конфигурацию; при этом в соответствии с заданной компьютерной программой при всех пространственных вариациях формы последняя будет всегда оставаться гладкой. Особенности и способы

параметрического формообразования/преобразования различных форм оболочек без изменения их топологии детально и полно представлены в работах В.Е.Михайленко и его сотрудников [56]-[57].

*1.2. Топологическое/структурное преобразование всей исходной формы или ее фрагментов.* Операции структурного формообразования:

а) отсечение/вырезание (плоское, цилиндрическое, коническое, сферическое, торообразное, гиперболическое, сложное);

б) присоединение/добавление (касательное или с взаимным пересечением): -абсолютно идентичных форм (в т.ч. самопересечение при их повороте либо сдвиге); -самоподобных разномасштабных форм (в т.ч. по принципу построения фрактальных структур и по телескопическому принципу- вдоль оси от большего к меньшему); -геометрически однородных форм; -геометрически разнородных форм с образованием сложно-комбинированных структур;

в) перемещение частей формы внутри нее без их самопересечения (т.н. технология Ашкинуде).

Так, актуальная технология топологического преобразования структуры многогранных объемов путем поворота многогранных «чаш»- отсеков классических многогранников, ограниченных плоскими правильными многоугольными основаниями,- впервые была предложена в 1957г. советским ученым В.Г.Ашкинуде [15, С.37], [20, С.13], который развернул одну из противоположащих восьмиугольных «чаш» классического ромбокубооктаэдра Архимеда (рисунок 8,а) на длину стороны основания и получил *псевдоромбокубооктаэдр Ашкинуде* (рисунок 8,б), неизвестный науке около 2000 лет. Точно такая же технология видоизменения объемов-прототипов может быть применена ко всем другим многогранным формам, имеющим на своей оболочке «чаши» с плоским правильным многоугольным основанием. При подобном преобразовании объема-прототипа существенно меняются как его симметрические характеристики так и топология.

Так, классический тетрагон-триоктаэдр Гесселя (рисунок 8,в), составленный из 24 одинаковых четырехугольных граней, преобразуется поворотом одной из половинок на длину стороны центрального многоугольного ребра в

родственный многогранник- *псевдотетрагон-триоктаэдр Ашкинузе*, обладающий совершенно иным типом симметрии (рисунок 8,г).

При развороте одной из десятиугольных «чаш»- половины классического икосододекаэдра (рисунок 8,д)- относительно другой его половины на длину стороны десятиугольного основания получается *псевдоикосододекаэдр* (рисунок 8,е).

Вращение одной из шестиугольных «чаш» классического кубооктаэдра (рисунок 8,ж) относительно другой его половины на длину стороны шестиугольного основания позволяет получить *псевдокубооктаэдр* (рисунок 8,з).

Исходный многогранник, содержащий одинаковые равносторонние треугольники и квадраты и ограниченный противоположными «чашами» с правильными шестиугольными основаниями, каждая из которых содержит центральный треугольник, окруженный тремя треугольными и тремя квадратными чередующимися гранями, между которыми размещен замкнутый центральный шестиугольный пояс из квадратных граней (рисунок 8,и), может быть преобразован в родственный псевдомногогранник (рисунок 8,к) поворотом одной из «чаш» на длину стороны шестиугольного основания.

Особняком в использовании данной технологии стоит классический ромбоикосододекаэдр (рисунок 8,л), содержащий на своей полной поверхности три независимые десятиугольные «чаша» (одна из них отделена на рисунке 8, м), которые могут при их последовательном развороте на длину стороны основания дать сразу три новых псевдоправильных многогранника. Две такие разновидности *псевдоромбоикосододекаэдра* с одной и двумя повернутыми «чашами» показаны соответственно на рисунках 8,н,о.

Топологическое преобразование спиралевидной структуры со складчатой поверхностью (рисунок 7,ж) может быть представлено в трех вариантах.

По первому варианту противоположные торцевые основания структуры постепенно уменьшаются, превращаясь в две крайние осевые вершины (рисунок 7,з). И лишь в этой конечной стадии преобразования формы изменяется ее топология. При этом очертание формы существенно изменяется, вызывая ассоциации с бутоном или веретеном.

Второй вариант преобразования исходной структуры предусматривает ее самопересечение с зеркально симметричной соосной складчатой спиралью (рисунок 7,и). Результирующий вариант цилиндрической формы содержит на своей поверхности встречно ориентированные пересекающиеся спиральные ребра, образующие западающие ромбовидные вафельные ячейки.

Третий вариант предусматривает рассечение исходной формы по ее продольной оси и соединение одной из оставшихся частей с ее зеркально симметричной половиной по плоскости среза (рисунок 7,к). В данном варианте существенно изменяется как общая топология так и пластика поверхности.

*1.3. Аппроксимация/приближение* (замена гладких сплошных оболочек решетчатыми, дырчатыми или многогранными; сильно расчлененных поверхностей- более сглаженными и наоборот, и др.).

*1.3.1. Аппроксимация как процесс замены какой-либо исходной формы на другую, близкую по общей конфигурации, геометрии и топологии как в сторону упрощения так и усложнения морфологических качеств прототипа.*

Аппроксимация может выступать и как бесконечный процесс поэтапного/постепенного дискретного видоизменения исходного объекта-прототипа и является разновидностью параметрического моделирования формы.

Так, на рисунках 9,а-к показаны стадии последовательного преобразования/поэтапной аппроксимации созданного автором звездчатого многогранника, состоящего из шестидесяти одинаковых пятигранных остроугольных пирамидальных пиков-лучей (рисунок 9,а). Заданный алгоритм геометрического преобразования данного объема заключается в одновременном и пропорциональном уменьшении высоты всех лучей по направлению к центру многогранника. Процесс разделен на несколько фиксированных стадий (пошаговое дискретное уменьшение высоты лучей с фиксацией результирующих форм каждой стадии показано на рисунках 9,а-г).

Когда вершины всех пирамидальных лучей и вершины их пятиугольных оснований будут совмещены с поверхностью описанной сферы (рисунок 9,д), многогранник из звездчатого превращается в выпуклый и аппроксимирует сферическую оболочку.

При дальнейшем одновременном движении вершин всех пятигранных пирамид к центру происходит их заглублиение внутрь объема с выворачиванием/инверсией поверхности лучей. На данной стадии многогранник преобразуется из выпуклого в ячеистый/сотовый. Начальная и промежуточная стадии появления и модификации сотового многогранника, где описанная сфера аппроксимирована сетью выпуклых ребер пятиугольных ячеек- оснований вывернутых пятигранных пирамид,- показаны на рисунках 9,е-ж.

При дальнейшем синхронном заглублиении 60 вершин вывернутых пирамид наступает стадия, когда все они одновременно совместятся в центре сотового многогранника; при этом грани смежных вывернутых пирамид полностью совмещаются друг с другом. Таким образом, на данной стадии кардинально изменяется структура/топология объекта.

Дальнейшее же встречное продвижение вершин пирамид за центр сотового многогранника на его противоположные стороны (эти предполагаемые стадии условно обозначены на рисунках 9,з-к) приведет к их сложному самопересечению с образованием абсолютно нового типа звездчатого центрального объема, обладающего новой топологией и типом симметрии.

Рассмотренный выше случай выявляет две очень важные качественные черты процесса поэтапного параметрического моделирования:

-каждую стадию преобразования/аппроксимации исходного объема-прототипа, т.е. каждый фиксированный вариант формы в бесконечной цепочке модификаций, выполняемых определенным геометрическим способом, можно рассматривать как конечный/завершающий результат этого процесса;

-любой фиксированный вариант формы в данной цепочке можно рассматривать в качестве исходного объема-прототипа, с которого может начаться иная цепочка последовательных геометрических модификаций, выполняемых иным способом, т.е. совокупностью заданных структурно-геометрических операций другого характера.

*1.3.2. Аппроксимация как перезадание формы исходного объекта-прототипа другими формообразующими элементами.* Перезадание формы сплошной геликоидальной складчатой оболочки-прототипа трубчатого очертания,

составленной из треугольных пластин (рисунок 9,л), может быть произведено аналогичной по своим топологическим и геометрическим характеристикам сквозной/решетчатой структурой из треугольных ячеек и образованной трубчатыми элементами (рисунок 9,м).

[Необходимо отметить, что вышеописанные схемы параметрического и топологического формообразования, а также аппроксимации целиком отражены на рабочей странице графического пакета 3d studio max, где имеется панель «инструментов», предусматривающая операцию параметрических преобразований точек объектов; подгруппа «модификаторов», предусматривающая деформацию формы объекта (операции: скручивание, изгиб, экструзия/выдавливание, отрезание/вырезание, сглаживание и перезадание гладкой поверхности решеткой и наоборот т.е. аппроксимация и др.); заданы как простейшие исходные формы объектов (т.н.«примитивы»: плоскость,призма, сфера, цилиндр, конус) так и более сложные («звезды», «капсулы», тор и др.)].

#### *1.4. Инверсия (выворачивание/переворачивание).*

Сущность метода инверсии заключается в выворачивании формы какой-либо тонкостенной оболочки наизнанку (интерьер какой-либо ограниченной по объему тонкостенной формы является инверсией по отношению к ее внешнему очертанию). В процессе инверсионного преобразования формы все ее элементы изменяются на противоположные по геометрии (выпуклые становятся вогнутыми и наоборот и т.д.- точно так выворачивается форма резиновой перчатки, когда ее стаскивают с мокрой руки). Однако в рамках данного направления существует очень интересное и до сих пор необъяснимое наукой явление: тонкостенные складчатые куполообразные оболочки, имеющие плоскую развертку, при осевом нагружении, постепенно распрямляясь, способны внезапно выворачиваться; причем их ребра по своему знаку остаются в неизменном виде (выпуклые остаются выпуклыми, а вогнутые- вогнутыми).

Так, складчатая куполообразная оболочка (рисунок 13,в), подвергаясь осевой вертикальной нагрузке, постепенно распрямляется (некоторые стадии ее распрямления показаны на рисунках 13,г-д), приходит в состояние плоской развертки (рисунок 13, е), после чего внезапно выворачивается в обратную

сторону (вывернутая форма изображена на рисунке 13,ж). При этом все ребра оболочки до ее трансформации и после остаются точно такими же.

Следует отметить одну чрезвычайно важную деталь- вышеописанное явление проявляет себя исключительно в поисково-экспериментальном *макетировании*; компьютерное же воспроизведение процесса осевой трансформации куполообразной складки не фиксирует как момента так и факта самой ее инверсии, ограничиваясь лишь параметрическими деформациями осевого сжатия-растяжения. [Таким образом, можно сделать определенный вывод: компьютерное моделирование отнюдь не всегда служит самым действенным инструментом формообразования и научного анализа, до конца раскрывающим все характерные особенности этого процесса; и в данном контексте актуальность научно-творческого поискового макетирования значительно возрастает].

*1.5. Кинематическое преобразование сплошной или несплошной плоской развертки из многоугольников по заданной сетке сгибов/шарниров- трансформация плоскости* (в т.ч. с искривлением исходных плоских многоугольников, с разрезами и вырезами плоскости, соединением различных участков поверхности и др.).

Основа формообразования многочисленных складчатых форм путем трансформации плоскости по линиям сгиба- *регулярные плоские сети*, образованные одинаковыми или различными многоугольными ячейками, которые ограничены прямыми или дугообразными линиями- т.н. *изоэдральные, изогональные и изотоксальные разбиения плоскости* (работы А.В.Шубникова [83], Б.Н.Делоне и М.И.Штогрин [27], а также Б.Грюнбаума и Дж.Шепарда [95]- [99], А.Темешвари [124]. Радиальные (в т.ч. фрактальные) плоские разбиения представлены в работе Е.А.Заморзаевой-Орлеанской [31].

Получение плоских разверток складчатых структур сводится к преобразованиям этих простейших разбиений путем их дополнительного подразделения или, напротив, устранения отдельных линий исходной сети в соответствии с разработанным комплексом *условий трансформации плоскости*, т.к. далеко не каждая плоская разбивка способна сложиться в складчатую оболочку. В ряде случаев для обеспечения трансформации плоскости необходимо в опреде-

ленных зонах осуществить ее сквозные прорезы, а иногда- вырезы отдельных ее многоугольных участков.

Результирующие складки могут иметь различное очертание (плоскостное, сводчатое, куполообразное, гиперболическое, сложное), а также различный тип симметрии (в т.ч. иметь асимметричную и аритмичную структуру). Возможно построение фрактальных складчатых трансформируемых структур (некоторые работы Ю.А.Плаксиева [63], В.Ф.Жданова и др. [68]).

Научно-экспериментальная разработка данного направления осуществляется в разных странах трудами Ю.А.Ачкасова [4], О.М.Вартаняна [13]-[14], З.Лагерпуша [106]-[107], В.Ф.Колейчука [41], Ю.С.Лебедева [39], А.И.Волкова [17], А.Н.Фесана [79], Э.М.Кириенко [37], А.Квормби [36], [114], П.Фростика [91], К.Миуры [111], В.Седлака [120] и др.

Существенный вклад в развитие этого перспективного направления внес автор настоящей диссертации: -более 100 опубликованных работ, изобретений и промышленных образцов, созданных им в интервале последних 40 лет; -ряд изобретательских решений успешно осуществлен в практике строительства общественных зданий, а также при серийном промышленном производстве ряда изделий (рисунки 10-12; 139; 142-146).

*1.6. Кинематическое преобразование стержневой или пластинчатой решетки по шарнирным связям (в т.ч. с возможностью деформации стержней/пластин).* Здесь прежде всего необходимо отметить оригинальное техническое и композиционное решение солнцезащитных и одновременно аккумулирующих солнечную энергию трансформирующихся фасадных пластинчатых решеток комплекса парных небоскребов «Al Bahar Towers», Абу Даби, ОАЭ (рисунки 13,а-б), возведенных по проекту фирмы «Aedas». Фасадные навесные решетки представляют собой систему отдельных трехлучевых складчатых зонтичных оболочек, которые в свернутом состоянии образуют сквозную структуру из ромбовидных ячеек, а в раскрытом состоянии сомкнутыми кромками формируют сплошную складчатую оболочку-гелиопанель. Открытие-закрытие отдельных участков поверхности или даже отдельных зонтичных элементов решетки осуществляется компьютером в произвольном режиме.

В русле этого направления следует выделить работы по созданию трансформируемых стержневых, пластинчато-стержневых и стержне-вантовых конструкций (В.Колейчук, В.Савельев, В.Иваненко, А.Ярмоленко, В.Сладков, А.Попов, М.Туполев и др.), а также кинематических сетчатых оболочек на основе триангуляционной сети (Ю.Блинов, Б.Сперанский, Ю.Малагон, В.Тур).

**2. Моделирование форм оболочек с минимальной поверхностью на разнообразных замкнутых пространственных контурах.** Оболочки, имеющие минимальную площадь поверхности на заданных пространственных контурах, являются объектами моделирования в рамках данного направления. Гладкая форма таких оболочек обладает очевидной технической эффективностью и моделируется мыльными пленками, именуясь «поверхностью равных напряжений» (рисунок 8,п). Геометрическое построение точечного каркаса таких оболочек изложено в работе В.Е.Михайленко и его сотрудников [57].

**3. Непрерывное или дискретное движение либо проецирование заданных формообразующих элементов.** Наиболее известная и показательная схема- движение образующих по направляющим. В качестве примера можно рассмотреть две трубчатые структуры, форма которых образована решетчатыми оболочками гиперболического параболоида, составленными по четыре в соосные яруса с квадратными основаниями.

В первом случае (рисунок 9,н) образующие одного из семейств гипаров дискретно перемещаются по скрещивающимся сторонам-направляющим квадратных оснований, ограничивающих какой-либо ярус, периодически фиксируясь в определенных положениях вокруг продольной оси и наклонно/наискось соединяя углы оснований.

Во втором случае (рисунок 9,о) скрещивающиеся стороны квадратных оснований какого-либо яруса определяют положение образующих, дискретно перемещаемых по направляющим, наискось соединяющим углы оснований яруса, периодически фиксируясь в плоскостях, нормальных оси структуры. Необходимо отметить, что в решетчатых вариантах обе рассмотренные выше структуры топологически различны; но если их решетчатые оболочки аппрок-

симировать участками гладкой гиперболической поверхности, они будут абсолютно идентичными.

Также достаточно распространенным методом является проецирование каких-либо элементов формы на параллельные экраны с последующей плавной аппроксимацией полученных проекций» [344], [338], [380]-[382].

#### ***«4. Модульная комбинаторика.»***

*4.1. Модульная комбинаторика как процесс составления переменных по форме плоскостных или пространственных структур из одинаковых/однотипных исходных/заданных модулей, выполненных в виде отсеков различных поверхностей, оболочек или объемных фигур, где структуры преобразуются перестановкой модулей (в т.ч. по фрактальным схемам).*

Здесь прежде всего необходимо отметить широчайший спектр детских конструкторов, основанных на гибком последовательном соединении одинаковых призматических модулей, способных к переменной пространственной компоновке. Известный конструктор «Змейка» способен образовывать многочисленные вариации в форме животных (например, петух, собака, змея- рисунки 14,а-в,д), укладываться в плотный призматический брикет (рисунок 14, е), формировать замкнутое многогранное кольцо (рисунок 14,ж) или полуправильный многогранник (рисунок 14,г). Полное количество пространственных комбинаторных конфигураций конструктора до сих пор не определено.

Треугольный структурный элемент с внутренним трехлучевым подразделением также способен давать большое число плоскостных и пространственных комбинаторных конфигураций (три из возможных плоскостных компоновок треугольного модуля показаны на рисунках 14,з-к).

*4.2. Модульная комбинаторика как процесс плотнейшего заполнения либо подразделения-паркетирования (в первую очередь- равноэлементного) плоскостных или трехмерных исходных объектов, имеющих замкнутую плоскую конфигурацию (круг, треугольник, шестиугольник и др.) или ограниченный параметрический объем (куб, сфера, многогранники и т.д.), а также безразмерных объектов («плоскость», «пространство»).* Классическая задача равноэлементного подразделения различных поверхностей и объемов в фундамен-

ной науке, архитектуре и дизайне занимает особое место и считается одной из сложнейших. При этом операции модульного плотнейшего заполнения или подразделения могут производиться применительно как к *поверхности* объектов (например, равноэлементные/изоэдральные разбиения сферической поверхности на многоугольные сферические отсеки) так и к *объему* объектов.

На рисунках 15,а,б показаны примеры модульного плотнейшего подразделения сферической и цилиндрической поверхностей, где в качестве модуля фигурирует трехгранная полая пирамида. При этом следует отметить, что данный модуль может плотнейшим образом паркетировать/покрывать также и очень сложные по конфигурации поверхности. В данном разделе прежде всего следует выделить работы Р.Б.Фуллера [116], [182], [184], [200]-[201], [210], М.С.Туполева [75], З.Маковски [110], Д.Рихтера [183], [188], [191], [202], [235] по плотнейшему паркетированию поверхности сферы и плоскости различными пространственными модулями, как плоскогранными так и гиперболическими.

Классический модуль плотнейшего заполнения трехмерного пространства- многогранник «усеченный октаэдр»- способен в процессе компоновки образовывать решетчатые и призмобразные структуры (рисунки 15,в-г), аппроксимировать, например, сросшиеся вершинами бипирамиды октаэдрального типа (рисунок 15,д), а также формировать неисчислимо количество пространственных вариаций с различной конфигурацией.

*4.3. Модульная комбинаторика как процесс переменного заполнения многоугольных ячеек плоскостных или пространственных решеток (реальных или виртуальных/графов) однотипными модульными элементами (плоскогранными, линейчатыми или нелинейчатыми элементами/отсеками поверхностей или составными модулями).*

В данном случае вариативность процесса формообразования определяется количеством форм модулей, плотно заполняющих ячейки заданного пространственного каркаса. На рисунке 14,л изображен пространственный решетчатый структурный каркас из десяти одинаковых ромбовидных ячеек, сгруппированных по пять вокруг двух противоположных осевых вершин. Данные ячейки могут быть вариательно заполнены различными пространственными

модулями, имеющими аналогичное ромбовидное очертание, например, отсеком линейчатой поверхности-гипара (рисунок 14,м), складчатой оболочкой из треугольных панелей (рисунок 14,н), отсеком линейчатой поверхности с центральным ромбическим сквозным проемом-заглублением (рисунок 14,о). При этом количество вариантов заполнения ячеек ничем не ограничивается.

**5. Слоистое формообразование.** Формотворческая сущность направления заключается в моделировании какой-либо формы массивом плотно составленных слоев (их толщина и очертание контура могут варьироваться).

Наиболее простой вариант построения многослойной формы- дискретное движение/комбинация движений исходного объемного элемента-слоя с какой-либо стабильной параметрической конфигурацией (например, плоскопараллельный перенос слоя вдоль оси с одновременным поворотом его на некоторый фиксированный угол- рисунок 23,з). В результате получается ступенчатая винтообразная многослойная структура, имеющая очевидный природообразный облик (автор- арх.Ю.С.Лебедев).

Перемещение заданного слоя может осуществляться комбинацией самых различных движений, в ряде случаев обеспечивая его самопересечение.

Более сложный вариант построения многослойной формы с регулярной структурой- дискретное движение/комбинация движений объемного элемента-слоя с одновременным дискретным изменением его геометрических параметров- габаритов, конфигурации, пропорций. Так, на рисунках 16,а-в показаны примеры вертикально-слоистых структур, в т.ч. с криволинейными контурными линиями, где при плоскопараллельном смещении слоя происходит его постепенная или скачкообразная параметрическая трансформация. На рисунке 16,г приведен пример горизонтально-слоистой структуры, где очертания горизонтального слоя-этажа проходят постепенную параметрическую деформацию от трехлучевой конфигурации в верхнем ярусе через очертание выпуклого многоугольника в центральной зоне к первоначальной развернутой трехлучевой конфигурации в нижней зоне. На рисунке 16,д приведена составная структура из горизонтально-слоистых треугольных модулей, каждый из которых образован уложенными друг на друга слоями, имеющими равностороннее тре-

угольное очертание и постепенно уменьшающимися от основания к вершине с одновременным их поворотом вокруг оси модуля.

Вместе с тем в рамках данного направления возможно создание сложных скульптурных форм, имеющих четко выраженную образно-символическую направленность. Так, архитектор В.Клюкин создал ряд проектов небоскребов для Манхэттена, горизонтально-слоистые поэтажные структуры которых достаточно определенно имитируют фигуры Венеры Милосской (рисунок 19,г) и крылатой богини (рисунок 16,е). Разумеется, каждый слой, имеющий специфическое сложное очертание, смоделирован в соответствии с индивидуальным параметрическим компьютерным алгоритмом. [Можно отметить, что сегодня слоистое формообразование неразрывно с параметрическим моделированием в части рабочего компьютерного инструментария].

**6. Заданные условия оптимального функционирования формы как определяющий фактор формотворчества.** Оптимизационное формообразование насчитывает не один десяток лет. Сюда, например, можно отнести аэрогидродинамические конструкции в конкретном режиме функционирования (крыло самолета, корпус подводной лодки- рисунок 17,и). Оптимальная форма придается акустическим оболочкам в залах с конкретными геометрическими параметрами и особым акустическим режимом. Форма водонапорных башен, отличающаяся наибольшей конструктивно-технологической целесообразностью- «обратный конус» (рисунки 17,а-б). А оптимальная по эксплуатационным характеристикам форма газгольдеров- сферическая.

Линзообразное поперечное сечение и угловое взаимное расположение двух остроугольных зданий комплекса Международного торгового центра в Манаме, Бахрейн (рисунок 17,в) определено отнюдь не эстетическими соображениями: такая форма объемов и расположение их под строго определенным углом резко усиливает воздушные потоки, направляя их в узкий зазор между зданиями, где в различных горизонтальных уровнях расположены пропеллеры эффективных ветровых генераторов.

Яркий пример оптимизационного проектирования формы несущих конструкций с конкретными геометрическими параметрами нагружения- много-

пролетные перекрытия шерстяной фабрики Гатти в Риме (инж.П.Л.Нерви), где усиливающие конструкцию ребра-нервюры располагаются именно в зонах наибольших усилий, определенных статическими расчетами (различные очертания орebrения перекрытий, определенные конкретным расположением колонн и балок в различных залах фабрики, представлены на рисунках 17,г-з). Те же качества присущи радиальным пластинчато-стержневым «траекториальным» структурам (авторы В.Г.Темнов, Е.Н.Митрофанов [72]).

С использованием современных информационных технологий успешно развивается такое известное направление, как «топологическая оптимизация» (устранение из структуры конструктивно «не работающего», лишнего материала). Прогрессирует и такое направление оптимизационной конструктивной морфологии, как «трабекулярные (сквозные мультирешетчатые/многоячеистые несплошные) структуры», которые по многим качествам оказываются гораздо эффективнее сплошных монолитных структур.

***7. Особые свойства применяемых материалов, конструкций и режимов эксплуатации, а также технологические особенности и возможности промышленного производства как определяющий фактор формотворчества.*** Современные технологии обработки разнообразных материалов и изготовления из них различных форм (штамповка, фрезеровка, гибка, литье, продавливание/экструзия, напыление, печать на 3d-принтерах, лазерная резка, нанотехнологии и многие другие) при всем их многообразии, сильном техническом оснащении и постоянном совершенствовании имеют определенные пределы формотворчества, которые пока человек не может преодолеть.

Так, физико-механические и химические свойства используемых в дизайне *материалов* во многом (а зачастую- во всем) определяют формы результирующих изделий, что позволяет выделять данные свойства в особую категорию важных факторов формотворчества. Например, конструктивные структуры на основе тентовых, вантовых и воздухоопорных систем не могут принимать любые произвольные формы: применяемые материалы с особыми свойствами и соответствующие дополнительные конструктивные элементы для

обеспечения их эффективной работы обуславливают соответствующую рациональную морфологию изделий.

Облик всемирно известного гигантского «паруса»- фасадного светопрозрачного тентового полотна, экранирующего атриум островного отеля «Burj Al Arab» в Дубае- определен его натяжением на выпуклые горизонтальные изогнутые фермы, подразделяющие форму тента на отдельные гиперболические отсеки с эффектной светотеневой картиной (рисунок 18,а). То же самое свойство тента- образовывать криволинейные пластически выразительные фактуры при натяжении на внутренний трубчатый каркас- использовано при создании фасадной тентовой оболочки баскетбольной арены Олимпиады-2012 в Лондоне (рисунки 18,г-д). Для формирования очертания тентовой оболочки могут быть использованы наружные трубчатые опоры и тросовые растяжки- так сформирована эффектная светопрозрачная тентовая оболочка стадиона Олимпиады-1976 в Мюнхене (рисунок 18,б). Характерная форма шатровых тентовых покрытий с острой вершиной (рисунки 18,в,е) определяется расположением внутренней центральной трубчатой опоры.

Такие же примеры, когда свойства применяемого материала, особое конструктивное решение или граничные возможности промышленного производства являются определяющими факторами формотворчества, можно без труда выявить в сфере вантовых и пневматических оболочек. Здесь яркий пример того, как свойства материалов и конструкций могут определять форму результирующих оболочек- выполнение железобетонных складчатых сводов и куполов на *пневообпалубке*, когда на пневматическую оболочку, перетянутую тросами в самых различных вариантах с образованием вспарушенных складок различного очертания, укладывают тонкий слой бетона до его полного отверждения, после чего гибкую сдутую пневообпалубку снимают [135], [143], [153], [161].

[При этом следует отметить, что *плоскогранных* складчатых оболочек со сложным рельефом поверхности, которые легко можно получить из гнутых композитных или металлических листов, тентовые, вантовые и пневматические покрытия образовать никогда не смогут].

**8. Особые индивидуальные художественно-эстетические концепции и предпочтения как определяющий фактор формотворчества.** Существует особая группа нестандартных формотворческих решений объектов дизайна, моделирование которых выходит за рамки каких-либо строгих геометрических закономерностей и определенных алгоритмов построения их структуры.

В качестве основных мотивов создания форм таких объектов могут выступать: а) стремление обозначить собственную уникальность за счет яркого эпатажа; б) четкое обозначение/трансляция определенных образно-символических аналогий путем частичной или полной имитации формы какого-либо объекта-прототипа (стилизация); в) обозначение национальных семантических и символических культурных кодов в русле развития национального самосознания и самоидентификации.

К первой категории объектов, несомненно, могут быть отнесены: -небоскреб с очертаниями скульптуры Венеры Милосской для Нью-Йорка (рисунок 19,г) равно как и ее уменьшенная копия- скульптура средового дизайна в Сеуле (рисунок 19,д); -гофрированная оболочка Музея Гуггенхайма в Бильбао (рисунок 19,б); -перевернутый на крышу жилой дом (рисунок 20,е); -вилла с видом на залив, встроенная в вертикальный утес скалы (рисунок 20, б); средовая скульптура Сеула в виде трех рук, торчащих из земли (рисунок 19,е); -небоскреб в виде ведерка со льдом и бутылкой шампанского (рисунок 20,г), а также небоскреб «Top Sexu Tower» для Нью-Йорка, где многоэтажная стройная женская ножка в туфле на высоком каблуке пикантно выставляется из фасада прямоугольного высотного остекленного объема [277].

Ко второй категории объектов можно определенно отнести: -многоэтажное здание-Чайник (рисунок 19,а); -жилой дом-Ботинок (рисунок 20,в); -здание музыкальной школы в Китае в виде рояля с прислоненной к нему скрипкой; -музей в форме друзы кристаллов (рисунок 20,а); -здание музея Восточного Ковра в Баку в виде свернутого в трубку ковра (рисунок 20,д); -здание фирмы по выпуску корзин в форме корзины с ручками (рисунок 20,ж); -здание-«цветок» (музей в Сингапуре- рисунок 19,в); -небоскреб-«линкор» в Дубае (офис компании «Etisalat»); -пирамидальный комплекс «Raffles Dubai» с детально

воспроизведенной ритуальной древнеегипетской скульптурной символикой; - здание в Шардже с луковичными куполами от Храма Василия Блаженного; - большая категория зданий и скульптур средового дизайна в виде животных: собаки (рисунок 21,б); рыбы (рисунок 21,г); слона (рисунок 21, е); улитки (рисунок 21,в); раковин (рисунки 21,а,д); черепахи (рисунок 21,ж).

К третьей категории можно отнести выставочный зал «Tri-Bowl» в Инчхоне, Южная Корея, три перевернутые конусообразные чаши которого символизируют три основные стихии- «Воздух», «Воду» и «Землю». Сюда же определенно можно причислить небоскреб «Guangzhou Circle», кольцообразная форма которого символизирует сакральный древнекитайский артефакт- нефритовый диск Би- символ здоровья, удачи и богатства. Имеются примеры выполнения зданий в форме китайских и арабских символических иероглифов, сложенных в молитве рук, а также стопки древних китайских монет и проч.

Сегодня становится очевидным, что прогресс этой ярко выраженной и далеко неоднозначной во всех отношениях тенденции способствует *полному стиранию отраслевых и профессиональных границ между объектами промышленного, средового и ландшафтного дизайна, традиционными архитектурными формами зданий, произведениями скульптуры и натуральными природными объектами.*

**9. Природообразные структуры.** В русле направления, часто обозначаемого как «био-тек» (bio-tech: *бионика* как наука об использовании в технике принципов формирования, свойств, функций, облика и структур живой и неживой природы), по мнению автора, сегодня сосредоточено наибольшее число технически эффективных и эстетически выразительных формотворческих решений дизайна.

Бионическое формотворческое направление в современном дизайне имеет два четко выраженных аспекта: -использование рациональных конструктивно-технологических принципов и способов природного морфогенеза при создании технически эффективных форм искусственных объектов (конструктивно-технологический аспект); -имитация пластически выразительных природных форм (художественно-эстетический аспект).

[Анализируя и раскрывая формотворческие особенности произведений и перспективы развития этого направления, следует сделать одну важную оговорку. Неизвестно, чем именно вдохновлялись авторы впечатляющих произведений архитектуры, представленных на рисунках 22-23 и имеющих очевидный природообразный облик- никакой точной информации об этом не имеется. Но доподлинно известно, что Заха Хадид использовала только строгие математические алгоритмы при создании целого ряда проектов, имеющих выраженный «бионический» имидж, не пользуясь при этом никакими природными аналогами и не имитируя их формы. В свете этого далеко неясно, какие именно произведения следует полноправно относить к категории «био-тек», а какие из них получили выразительные природообразные формы совершенно случайно, в т.ч. в результате вариационных художественно-пластических поисков или при использовании строгих параметрических расчетов].

**10. Возможности современных информационных технологий, в т.ч. «искусственного интеллекта», как определяющий фактор формотворчества.** Многовариантное компьютерное параметрическое или алгоритмическое формообразование (в т.ч. без участия человека) на основе наперед заданных качеств/параметров объекта и окружающей среды выделено автором в отдельную категорию направлений формотворчества. Сейчас это направление получило стремительное развитие на базе последних достижений информационных/компьютерных технологий в сочетании с новейшими достижениями технологий обработки материалов (в т.ч. печати на 3d-принтерах).

Используются различные пакеты графических и расчетных прикладных программ и приложений по 3d-моделингу, рендерингу/визуализации, анимации и оптимизации (самые востребованные- 3d studio max, Revit, SATIA, семейства программ CAD/CAM и CAAD, а также, Maya, Cinema 4D, ZBrush, Blender, Houdini, V-Ray, Maxwell, Corona).

Прежде всего, весьма заметно информационные технологии повлияли на прогресс уже давно известного параметрического формотворчества. В рамках этого направления 3d-моделями точно описываются параметры всех составляющих структурных элементов, определенные единым базовым алгоритмом

формообразования, который генерирует самые сложные формы и линии с плавным очертанием, а также разнообразные складчатые, решетчатые и фрактальные композиции с регулярной и иррегулярной структурой. После завершения начальной фазы компьютерного моделирования далее каждый из индивидуальных элементов системы изготавливается на технологическом оборудовании с ЧПУ с последующей сборкой целостной конструкции. Предложениями по т.н. «параметрической мебели», образованной параллельными плоскими слоями толстой листовой фанеры, каждый из которых имеет строго определенное индивидуальное криволинейное очертание, заполнены сайты всех известных мебельных фирм (примеры «параметрического пристенного панно» и «параметрического кресла» из таких листов приведены на рисунках 147,д-е). [В данном случае компьютерное моделирование многослойных структур тесно смыкается с направлениями параметрического и слоистого формообразования, изложенными выше]. Весьма убедительно представляют открывающиеся возможности компьютерной параметризации объектов архитектуры впечатляющие проекты и постройки Захи Хадид (рисунки 22,в,е-ж).

Стремительно развивается и такое перспективное направление информационных технологий, как *«генеративный дизайн»*, которое по своей сущности достаточно сильно отличается от параметрического формообразования и подразумевает использование нейросетей либо генетических алгоритмов. Если в первом случае весь процесс моделирования формы в значительной степени контролируется и корректируется человеком (что обуславливает получение на выходе достаточно предсказуемых результатов), то во втором случае на основе заданных человеком исходных параметров генерирование новых форм производится путем произвольного/случайного вариативного поиска, что обуславливает появление абсолютно непрогнозируемых причудливых форм, до которых человеку не додуматься самому. [В частности, здесь уместна аналогия с детским калейдоскопом, когда человек вкладывает в трубку между трех зеркал маленькие элементы- кусочки стекла, бусинки, скрепки и проч., т.е. задает исходные параметры формотворческого процесса, но далее, вращая трубку, уже

не способен предсказывать, контролировать и корректировать конкретные возникающие результаты- многочисленные и причудливые картины отражений].

Использование современных информационных технологий позволяет получать исключительно сложные по пластике формы и вскрывать ранее неизвестные возможности художественно-композиционных построений (наиболее яркий пример- скульптурный Цифровой Грот в Центре Помпиду, созданный немецким дизайнером-программистом Михаэлем Хансмайером совместно с Бенджамином Дилленбургером- рисунки 147,а-в). По заявлению авторов, пластический результат компьютерных вариаций наполовину оказался непредсказуемым. Технологические возможности производства на 3d-принтерах пластически сложных сетчатых оболочек убедительно демонстрирует Павильон Дедал на одной из строительных выставок (рисунок 147,г).

Наряду с Михаэлем Хансмайером безусловными лидерами данного направления считаются также архитекторы Й.Гилис и Фрэнк Гэри.

Получил известность итальянский архитектор Ц.Содду, который создал алгоритм, генерирующий сложные формы архитектурных оболочек методом подбора определенных групп параметров. В частности, на основе этой разработки, которая позиционируется им как коммерческий продукт и не подлежит разглашению, он выполнил серию проектов небоскребов для Гонконга, имеющих весьма характерный внешний облик [82, С.255-261]. (По мнению автора диссертации, данные весьма спорные и неэстетичные формотворческие решения Ц.Содду- примеры крайне неудачного использования компьютерных технологий для целей создания современных уникальных и впечатляющих архитектурных произведений и служат скорее антирекламой как создавшему их архитектору так и примененному им алгоритму).

Использование же возможностей *«искусственного интеллекта»*, когда компьютер способен самостоятельно (без какого-либо участия человека) генерировать неисчислимое количество эстетически выразительных и технически эффективных форм виртуальной реальности на основе самоорганизации и самообучения- процесс интригующий, многообещающий, с непредсказуемым результатом, но все же- реалия будущего.

### ***11. Сочетание вышеназванных направлений в различных вариантах.***

Вполне вероятно, что наибольшей эффективностью в контексте композиционно-технологической вариативности будут обладать именно разнообразные сочетания вышеописанных направлений (формотворческих методологий и способов, социальных стратегий, принципиальных идеологических подходов и философских парадигм).

*Вывод.* Без качественного, надежного и многофункционального инструментария любая отрасль человеческой деятельности мертва. Описанные выше совершенно различные по своему характеру методологии и подходы к моделированию форм объектов дизайна и архитектуры, имеющих регулярную дискретную структуру, безусловно, не исчерпывают всего перечня инструментальных возможностей формотворчества - данная актуальнейшая сфера в самом ближайшем будущем получит мощный импульс развития.

Следует отметить, что наряду с новейшими компьютерными технологиями моделирования одновременно резко возрастает роль экспериментально-поискового физического моделирования/макетирования, которое способно обнаружить новые, а также усовершенствовать известные морфологические качества создаваемых объектов, не фиксируемые виртуально, тем самым существенно расширив диапазон эффективных формотворческих решений.

Вскрытие новых потенциальных возможностей уже известных методологий и способов, а также создание принципиально новых инструментов экспериментально-поискового виртуального и физического моделирования неизвестных на сегодняшний день регулярных структур - самый эффективный путь технологического прогресса дизайна и архитектуры XXI века» [345], [339].

### **1.3. Некоторые проблемные аспекты архитектурно-дизайнерского формообразования в контексте профессиональной конвергенции**

«В настоящем разделе работы показаны проблемы процесса межпрофессионального взаимодействия *Дизайна и Архитектуры*, а также отражены особенности профессиональной конвергенции в такой сложнейшей многоаспектной области, как *национальное/ региональное архитектурно-дизайнерское формотворчество*.

Коллизии взаимоотношения весьма близких по своей формотворческой сущности двух родственных профессий в современности обретают новый виток остроты. Вызвано это стремительным взаимопроникновением формотворческих методик и приемов стилеобразования, а также перенесением философских парадигм и принципиальных идеологических платформ и из одной профессии в другую. Данное обстоятельство в последние годы обусловило весьма напряженные взаимоотношения архитекторов с дизайнерами.

Так, ряд публикаций академика архитектуры А.В.Бокова прямо посвящен этой теме [7]-[8], где прослеживаются особенности становления и пути параллельного развития двух родственных профессий, а также сравниваются их принципиальные идеологии и методологии. Общий тон и смысл основных положений публикаций, освещающих эту проблему, таков: вторжение Дизайна в различные сферы Архитектуры не несет последней ничего положительного вследствие их абсолютно различной природы и в значительной степени обусловливает размывание ее фундаментальных многовековых принципов.

Негативный тон и явная тревога относительно прогрессирующей тенденции проникновения профессии Дизайн в различные сферы зодчества сквозят в ряде выступлений членов Отделения архитектуры Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), откровенно именующих Дизайн «профессией-агрессором» и задающих жесткий риторический вопрос: «Что же еще сможет для себя отделить от Архитектуры Дизайн?...». [Ведь за последние годы в сферу его деятельности уже прочно вошли такие практические направления, учебные университетские дисциплины и научные специализации, как «Дизайн архитектурной среды», «Дизайн интерьера», «Ландшафтный дизайн», ранее на протяжении многих веков бывшие безусловной прерогативой деятельности профессиональных зодчих].

Усугубляет конфликтную ситуацию появление и прогрессирующее расширение диапазона «пограничных» сфер, которые в равной степени могут служить областями профессиональной деятельности как архитекторов так и дизайнеров. Помимо разработки общей художественной концепции и предметного обустройства интерьеров, а также малых форм средового дизайна сюда

можно отнести разработку и крупносерийное промышленное производство быстровозводимого модульного временного жилья в труднодоступных районах нефтегазовых месторождений, сборно-разборные блочные структуры военных городков, легкие оболочки-укрытия в зонах стихийных бедствий и военных конфликтов, серийно изготавливаемые объекты промышленной инфраструктуры: теплообменники-водоохладители (градирни), резервуары (водонапорные башни, газгольдеры), гидротехнические объекты (плотины), а также серийно изготавливаемые элементы строительной индустрии: интерьерные акустические экраны, облицовочные фасадные и кровельные плиты и панели, опоры, фермы, арки, оболочки и др.

При этом в качестве системной методологической платформы формотворчества представителями двух профессий также используется один и тот же инструментарий морфологических/композиционных категорий и способов поисково-экспериментального моделирования облика объектов.

Подтверждают эту мысль ключевые теоретические положения работы доктора искусствоведения, профессора, эксперта Международной ассоциации художественных критиков (АИСА, Рим, Италия) В.Г.Власова [16]:

-«Выяснилось, что классическая «триада Витрувия» (Полезность. Прочность. Красота) в равной степени применима ко всем бифункциональным видам искусства, а архитектура и дизайн развиваются по одним и тем же законам»;

-«Чем ближе архитектура оказывается к техническим инновациям, тем больше в ней проступает творческое, личностное начало. И напротив, чем ближе новая архитектура к полюсу традиционного искусства, тем более она склоняется к стилизаторству и эпигонству. Этот постмодернистский феномен раскрывает главное- цель и методика архитектурного проектирования интегрируется с новейшей дизайн-деятельностью»;

-«Таким образом, «экспансия дизайна», внедрение дизайнерских методов проектирования и моделирования в другие области человеческой деятельности, в частности в архитектуру, должны рассматриваться как естественный и исторически закономерный процесс».

По существу процесс срастания Архитектуры и Дизайна в строительной сфере начался не вчера, а продолжается уже более 2000 лет: пирамиды ацтеков и инков; пагоды стран Юго-Восточной Азии и Дальнего Востока; храмы Бирмы и Таиланда с куполами в виде колоколов и вступарушенных складок; медресе и мечети Средней Азии и Ближнего Востока; распространенные повсеместно и тиражируемые веками классические ордерные системы, элементы декора и отделки и др.- это яркие примеры взаимодействия архитектурных и дизайнерских творческих парадигм, методик, форм и художественных мотивов, разделить которые невозможно и не нужно.

Зачастую творческие ипостаси двух родственных профессий самым непостижимым образом соединяются в одном мастере: гениальный испанец Антонио Гауди, которого мы именуем зодчим, в своих выдающихся архитектурных произведениях решал композиционные задачи не только по формированию их экстерьера (общее объемное решение, силуэт, детализировка фасадов и проч.), но также и дизайна всех интерьеров с тщательной разработкой индивидуальной внутренней пластической детализировки (лепнина, мозаичные узоры стен и полов, цветные витражи, форма оконных рам и опор, кованые решетки, резная деревянная мебель, светильники и др.), а также уникального средового и ландшафтного/паркового дизайна (например, знаменитый парк Гуэль со всей роскошной рукотворной скульптурной атрибутикой).

В современной эпохе к наиболее ярким примерам перенесения художественных форм, принципов и методик Дизайна в Архитектуру, помимо творчества А.Гауди, безусловно, следует отнести всемирно известные произведения экспрессионизма, созданные архитектором Э.Мендельсоном, где все сооружения выполнены со скругленными углами, криволинейными витражами и плавными очертаниями основных объемов, за счет чего имеют абсолютно «машиноподобный» облик (одна «Башня Эйнштейна» в Потсдаме чего стоит!).

В процесс взаимопроникновения Архитектуры и Дизайна выдающийся вклад внес Я.Г.Чернихов, издавший книгу «Конструкции архитектурных и машинных форм» (1931г.), а также организовавший в Ленинграде формотворческую выставку «2222 архитектурные фантазии» (1933г.), где показал органиче-

ское/гармоническое соединение «архитектурных» и «машинных» форм в самых разнообразных и причудливых композициях.

Выразительный «машиноподобный» облик за счет привнесенных в архитектурную композицию элементов авто-, мото- или авиадизайна имеют совсем близкие к нам по времени многие знаменитые архитектурные произведения стилистики «хай-тек», например, «Lloyd's Building» в г.Лондоне (арх.Р.Роджерс), а также «Hongkong & Shanghai Banking Corporation Headquarters» в Гонконге и центр «Рено» в Суиндоне (арх.Н.Фостер). Историками архитектуры отмечается, что в рамках стиля «хай-тек» «...архитекторы прямо или косвенно использовали образы и символы техники, готовых машинных изделий...архитектура все больше соединяется с дизайном и инженерией...здания одеты в одежды из труб и напоминают нефтеперегонные заводы» [60, С.107].

Абсолютно «дизайнерский» имидж отличает плавно изогнутые формы экстерьеров и интерьеров многих выдающихся проектов и построек Захи Хадид. Все вышеперечисленные примеры, несомненно, относятся к шедеврам мирового зодчества как пластического Искусства.

Итак, по мнению автора, сегодня, несомненно, прогрессирует актуальная и положительная тенденция встречного взаимопроникновения/срастания двух профессий в архитектурно-строительной сфере по всем направлениям- от общих принципов, парадигм и концепций деятельности до объектного диапазона и инструментальных формотворческих методологических платформ. В обозримой перспективе вполне возможно их полное соединение с образованием комплексной профессии «Архитектурно-строительный Дизайн», что, несомненно, обогатит мировое зодчество новыми, свежими художественными идеями, принципами организации формы объектов и построенными шедеврами. Никакой трагедии и «кризиса профессии» в этом нет- такова логика развития процесса профессиональной конвергенции. [Здесь уместно провести аналогию с классическими «физикой» и «химией», на стыке которых возникла новая актуальная сфера науки- «физическая химия»; а срастание классических «биологии» и «химии» привело к возникновению новой научной отрасли- «биохимии», без которой сегодня немыслима современная фундаментальная наука].

Абсолютно узаконенное присутствие Дизайна в Архитектуре официально утверждается формулировкой пункта 7 перечня областей научных исследований паспорта диссертационной специальности 2.1.12 «Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности» ВАК РФ: «7. Дизайн интерьеров и экстерьеров гражданских и промышленных зданий, сооружений и их комплексов»; причем в качестве одной из смежных дисциплин данной специальности указана специальность 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн». Вместе с тем сегодня становится особенно очевидным, что в сравнении с патриархальной и консервативной, инертной и медлительной, слабо развивающейся в качественном отношении Архитектурой динамичный Дизайн стремительно набирает темпы формотворческого развития. Объективный сравнительный анализ перспектив и динамики формотворческого развития сегодня, увы, далеко не в пользу мирового зодчества.

В течение многих веков Архитектура использует сравнительно небольшой диапазон принципиальных конструктивно-тектонических систем (ордерная стоечно-балочная, арочная, сводчатая, купольная, комбинированные и оболочечные системы), а также способов их технологического воплощения, что во многом обусловлено объективными физическими сложностями наземного строительства. Дизайн же использует гораздо более совершенный и разнообразный технологический инструментальный арсенал проектирования и воплощения своих передовых формотворческих разработок, поскольку не связан многофакторными идеологическими, политическими и физическими проблемами, присущими Архитектуре; следовательно, его развитие идет на порядки быстрее.

Академик Ю.П.Гнедовский в одном из своих интервью откровенно признал, что, увы, «...сегодня Россия не входит в число великих архитектурных держав...Качество нашей архитектуры и строительства все еще не имеет должного рейтинга в мире, высшие международные премии нас минуют. А ведь в 20-30-е годы Советская Россия была в числе лидеров современной архитектуры, обогатив мир идеями, которые и поныне оказывают большое влияние на мировой архитектурный процесс» [22, С.4].

Мысль о «великих советских архитектурных идеях 1920-30-х» постоянно звучала и звучит в выступлениях многих других известных зодчих; но что это за «идеи»- почему-то никогда и никем не уточняется и не конкретизируется в развернутом виде. Абсолютно не акцентируется очевидный факт, что это наиболее значительное в нашей отечественной архитектурной истории явление- Советский архитектурный авангард- состоялось лишь благодаря интенсивному культивированию *новаторских экспериментально-поисковых методик форматворчества*, которое осуществило созвездие выдающихся зодчих-концептуалистов (И.Леонидов, В.Татлин, К.Мельников, В.Шухов, Я.Чернихов, А.и В.Веснины, Н.Ладовский, В.Кринский, И.Голосов, Г.Людвиг, К.Малевич, Л.Лисицкий и др.). *Новые архитектурные формы, созданные ими с использованием собственных творческих методов*, поразили весь архитектурный мир именно в *формотворческом* аспекте.

Понимает этот факт практически все сегодняшнее российское архитектурное сообщество, но акцентировать его намеренно не хотят и всячески замалчивают: если поставить его во главу угла, тогда сразу становится абсолютно ясно, *что именно* является приоритетным в развитии Архитектуры как пластического Искусства и какую сторону современного отечественного зодчества следует немедленно развивать в первую очередь.

В настоящий момент качество форматворческого новаторства практически полностью отсутствует в российском научном и творческом зодчестве (явное предпочтение отдается исследовательским историческим и искусствоведческим трудам, ориентированным на изучение архитектуры прошлых времен; при этом архитекторы-практики целенаправленно заниматься экспериментально-поисковым форматворчеством не желают или не могут- для этого нужен ярко выраженный форматворческий талант). В сегодняшней российской архитектуре ученых и концептуалистов, обладающих собственным уникальным и неповторимым форматворческим талантом и способных вывести умирающее отечественное зодчество из состояния стагнации на передовые позиции в мире, можно пересчитать по пальцам одной руки. В результате современная российская концептуальная архитектура абсолютно выпадает из контекста разви-

тия мирового креативного зодчества и вынуждена плестись в его хвосте, подпитываясь уже давно известными композиционными идеями, что более и более заводит ее в абсолютный тупик...

В итоге можно четко констатировать: отрицая признание и адекватную оценку очень редких и практически ценных научных экспериментально-поисковых и творческих работ области инструментального формообразования, основанных на эффективном использовании последних открытий фундаментальных точных наук в сфере архитектурной композиции и виртуальных концептов, РААСН тем самым перечеркивает весь инновационный потенциал своего развития. Она утрачивает способность решать перспективные актуальные проблемы композиционно-эстетического формирования градостроительной среды будущего, что на порядки понижает международный авторитет и престиж всей российской фундаментально-прикладной академической науки.

При таком наплевательском отношении к актуальнейшей формотворческой тематике со стороны ведущих представителей российского архитектурного сообщества в самое ближайшее время следует ожидать, что падающее знамя отечественного архитектурного формотворчества подхватит динамичный и мобильный дизайн, присоединив к себе новую важнейшую полноценную профессиональную отрасль, бывшую доселе в сфере архитектурного творчества «архитектурное формообразование». Следовательно, в перспективе в архитектурно-художественных университетах страны появится новая научно-практическая специализация- «*Дизайн архитектурных форм*» [342], [383].

«Другая «болевая точка» сферы формотворчества- извечная проблема противодействия «*национального*» и «*интернационального*» в архитектуре и дизайне строительных и средовых объектов- с каждым этапом развития нашей цивилизации получает дальнейшее обострение. Обусловлено это противоречие встречным развитием самых различных общественно-политических, промышленно-технологических, социально-экономических и культурных устремлений, тенденций и факторов.

Несомненно, одним из основных факторов формообразования является развитие *национального самосознания* как социального мотива, определяюще-

го выражение многовековых национальных/этнических культурных кодов средствами современной архитектуры и дизайна.

Все возрастающее сопротивление человеческого общества развитию глобализма и интернациональных тенденций и процессов в различных областях нашей жизни вызвано стремительным стиранием ярких национальных особенностей мировой культуры, в т.ч. появлением безликой, равнодушной к человеку архитектуры, а также объектов средового и строительного дизайна.

Прогрессирует тенденция возрождения и развития собственных самобытных исторических традиций- это вызвано обращением целых стран и наций к важнейшему вопросу о культурной самоидентификации, ответ на который, в свою очередь, позволяет говорить о соответствующем вкладе какой-либо нации в мировую культуру. Данная тенденция стимулирует развитие в различных странах мира таких стилистических направлений, как «историзм», «регионализм» и др. Все чаще раздаются голоса в поддержку национальных культурных проектов; принимаются соответствующие постановления на уровне правительств и глав государств; развивается тенденция культурных обменов (выставки, дни культуры каких-либо стран и др.).

При первом же обращении к данной теме становится совершенно очевидным, что проблема развития «национального» в любой сфере культуры-многофакторная. Здесь самым непостижимым образом складываются: национальный/народный менталитет/характер/темперамент, устоявшийся многовековой уклад жизни, приоритетные формы/сюжеты искусства (в т.ч. монументального и декоративно-прикладного), эстетические предпочтения, особенности климата и местности, строительные традиции и строительные материалы, уровень научно-технологического развития, социально-демографические тенденции, политические устремления и амбиции, религиозные и духовные каноны, эзотерические практики и прочие существенные компоненты.

В настоящей работе автор не ставит своей целью определить комплексное влияние всех вышеперечисленных факторов на появление, развитие и становление соответствующих форм «национальных» архитектуры и дизайна- это не представляется возможным даже в ближайшей перспективе.

Вместе с тем на основе анализа имеющихся в архитектурно-дизайнерской практике характерных примеров вполне возможно выявление основных формотворческих идеологий, концепций и парадигм, а также конкретных композиционных приемов, позволяющих достигать эффективных результатов при поиске оптимальных решений национальной самоидентификации, что чрезвычайно необходимо современной профессиональной практике.

Поиск предшествующих работ по данной научной проблематике позволил установить лишь единичные случаи обращения к этой сложной теме. Среди них следует особо выделить основательное специальное исследование Ю.С. Яралова [85], где анализируются основные отечественные и зарубежные противоположные идеологические воззрения на проблему становления «национального» в архитектуре и дизайне среды- от интенсивного культивирования до полного отрицания. Приведены мнения ведущих архитекторов мира, работающих в русле «национальной архитектуры», о путях ее дальнейшего развития; показаны некоторые конкретные композиционные приемы практической реализации их идей; отражено мнение архитектурной критики. Однако в рассмотренных работах отсутствует системное изложение основных формотворческих парадигм, а также композиционных средств создания произведений архитектуры в «национальной» манере/стилистике.

Определить общие идеологические тенденции и возможные композиционные подходы к решению злободневной и актуальной проблемы становления «национального» в архитектуре, интерьере и средовом дизайне с использованием регулярных дискретных структур- цель настоящего раздела диссертации (при этом следует отметить, что автор рассматривает обозначенную научную проблему *с сугубо морфологических позиций*).

Впервые определены и систематизированы основные парадигмы использования регулярных дискретных структур в контексте развития *национального самосознания/самоидентификации*, а также показаны наиболее действенные композиционные средства/приемы/способы их осуществления.

***1.Прямая трансляция/перенос деталей (иногда объемного решения в целом) широко известных исторических прототипов в современные зда-***

*ния в практически неизменном виде.* В данном случае национальный/региональный колорит привносится в современное здание путем включения в его композиционную структуру имиджевых элементов всемирно известных исторических прототипов. Эти элементы/художественные мотивы национальной культурной идентификации призваны служить своеобразным «мостиком» из «прошлого» в «настоящее», обеспечивая образную и стилистическую преемственность культурных слоев.

Однако данная образно-стилистическая парадигма, весьма популярная в настоящее время, вызвала к жизни массу «имитационных» современных построек, имеющих далеко не всегда уместное (зачастую- формальное и фальшивое) архитектурно-композиционное и образно-стилистическое звучание.

Так, например, функциональные и одновременно композиционно выразительные *вентиляционные башни* древних арабских построек на берегах Персидского залива (рисунки 24,а-г) в неизменном виде перемещены в структуру современных построек формально (рисунки 24,д,ж-з): в данном случае стилизация современных малоэтажных торговых и офисных зданий Дубая и Шарджи (ОАЭ) под исторические прототипы выглядит весьма неуместно, нелепо и нарочито эклектично.

Гораздо более удачное композиционное включение этих модифицированных элементов в структуру офисного высотного здания в Шардже в виде симметричных вертикальных пилонов-лифтовых шахт, выступающих квадратными башенками над уровнем кровли, можно наблюдать на рисунке 24,е; причем, общее положительное впечатление от здания в данном случае определяется не только хорошо сбалансированным фактурным и тоновым контрастом материалов внешней оболочки и выразительным силуэтом, но и тем, что введенные в композицию современного объекта исторические элементы творчески переосмыслены и соответствующим образом переработаны/видоизменены, хотя при этом легко узнаваемы.

Королевская Мечеть в Кордове определенно послужила источником вдохновения и прямым историческим прототипом для архитекторов, создавших современный торговый центр в Шардже (рисунок 25,а), где с целью ими-

тации «арабской» национальной стилистики достаточно подробно воспроизводятся характерные полосатые арочные полукружия на тонких цилиндрических колоннах с капителями; при этом данный декоративный мотив повторяется на верхних этажах в виде спаренных полосатых арочных оконных проемов.

Очевидно, точно такая же архитектурная мотивация обусловила появление и определила весьма странный имидж современного торгового центра в Шардже (рисунок 25,б), имитирующего «русский» стиль путем трансляции одной из характерных башен с луковичным куполом Собора Василия Блаженного в Москве в композиционную структуру здания в практически неизменном виде. Четыре одинаковые башни с куполами располагаются по углам призматического объема, фасадные плоскости которого прорезаны одинаковыми полуциркульными арочными проемами.

Неуклюжая композиционная попытка придать архитектурному объекту экзотический «китайский колорит» предпринята в столице Казахстана Астане (нынешний Нурсултан). Здесь на обычный призматический объем отеля «Пекин Палас Soluxe Hotel Astana», прорезанный рядами одинаковых квадратных окон и лишенный какой-либо национальной специфики, чисто формально «надет» сверху двухъярусный фрагмент китайской пагоды со всеми точно воспроизведенными атрибутами национальных исторических прототипов (рисунок 25,в).

Стремление арабских инвесторов придать современному общественному комплексу Дубая «Raffles Dubai» яркую «древнеегипетскую» стилистическую окраску обусловило соответствующее его архитектурное решение- выполнение центрального объема в форме, символизирующей пирамиду Хеопса, а также обильное насыщение приобъектного пространства культовой скульптурной и графической атрибутикой времен фараонов (фигуры людей и животных, разрисованные колонны с капителями формы лотоса, ритуальные настенные рисунки), воспроизведенной в практически оригинальном виде (рисунки 25,г-к).

Попытки акцентировать собственную национальную индивидуальность средствами народной архитектуры определили появление и обусловили внешний вид Национального музея Чеченской республики в Грозном (рисунок 26,

д), в композиционную структуру которого в практически неизменном виде помещены четыре угловые *сторожевые оборонительные башни*, которые вкупе со стеклянным центральным куполом придают зданию сходство с мечетью. [Эти башни характерны для поселений ряда кавказских народов, являются выдающимися памятниками региональной культуры и отсылают зрителя к древней истории Кавказа VIII-XVII вв. (рисунки 26,а-в)]. Дополняют обозначенный образ музея суровые каменные призматические объемы здания, глухие фактурные стены которых прорезаны узкими стрельчатыми и полуциркульными оконными проемами.

Прямая аналогия с вышеописанными кавказскими башнями присутствует и в дизайне 400-метрового небоскреба «Ахмат» (рисунок 26,г), выполненного для столицы Чеченской республики архитектором А.Зусиком. Здесь оригинальной композиционной деталью является стилобат здания, выполненный в национальной восточной стилистической манере.

Весьма популярно обращение современных зодчих и дизайнеров и к другой яркой и характерной архитектурной «изюминке» Кавказа- перекрытию в виде *деревянного ступенчатого куполообразного покрытия/венцового свода* со светодымовым отверстием вверху (рисунки 26,е-з). [Такой тип покрытия был характерен в древнем жилище народов Кавказа (в Грузии такие жилища получили название «дарбази», в Армении- «глхатун», в Азербайджане- «карадам»)]. Сегодня этот выразительный и динамичный композиционный элемент в оригинальной форме, напоминающей складчатый купол, весьма удачно вписан в покрытие выставочного зала Государственного этнографического музея Армении «Сардарпат» (рисунок 26,и). Можно наблюдать использование его и в качестве акцентирующей этнической композиционной детали современного общественного интерьера, стены которого украшены узорчатыми коврами, а конструктивные детали (балки и опоры)- резными национальными узорами (рисунок 26,к).

Знаменитая Вавилонская башня (рисунок 27,а) и минарет Большой Мечети в Самарре, Ирак, IXв. (рисунок 27,б) однозначно послужили композиционными прототипами двух современных имиджевых объектов ОАЭ: минаре-

тов мечети в центре Абу Даби (рисунок 27,в) и офисного здания корпорации «Etisalat» в Шардже (рисунки 27,г-ж). Но если в первом случае аналогия современных и исторических форм является практически полной (вплоть до имитации глиняной фактурной облицовки), то во втором объекте узнаваемой является лишь общая форма основного объема- *цилиндрическая улиткообразная спираль* (все же остальные композиционные элементы этого уникального комплекса, включая фирменную белую геосферу на вершине и решетчатую структуру стилобата, выполнены в современном ключе).

Именно поэтому последний объект, не копирующий откровенно и прямо формы исторического прототипа, а лишь тактично намекающий зрителю на далекое прошлое величие Ближнего Востока, является наиболее удачным и композиционно содержательным: здесь «древнее» органично взаимодействует с «современным», и при восприятии сооружения не возникает ощущения взаимной чужеродности элементов, дисгармонии и отторжения. Ведь рожденное творческим актом удачно найденное образно-композиционное взаимодействие исторических и современных элементов/мотивов в сложном процессе создания произведений региональной архитектуры всегда эффективнее и честнее неприкрытого и активного заимствования.

Следует отметить, что несмотря на видимую технологическую простоту и быстроту использования эклектического способа прямой трансляции исторических форм в современный контекст, его применение в каждом конкретном случае требует особой осторожности и такта, а также отменного композиционного мастерства и вкуса, художественной интуиции и чувства меры. Механическое же копирование и последующее перенесение имиджевых элементов оригинальных исторических прототипов в современный контекст зачастую приводит к образованию чисто формальных чужеродных композиционных сочетаний, лишенных образной выразительности и художественно-исторического смысла, в итоге обуславливая появление нелепых и половинчатых результатов. Ведь прямые образные цитаты из прошлого далеко не всегда уместны в настоящем.

Создающие «имитационные» архитектуру и дизайн чаще всего объясняют необходимость их появления соблюдением «культурных традиций», а также «стилистической и образной преемственности». Именно так компилятивное ремесло выдается за художественное творчество, а «клоны» и подделки - за произведения искусства. [В частности, опыт мирового зодчества убедительно показывает, что чаще всего «имитационными» объектами занимаются архитекторы, ощущающие у себя отсутствие творческого таланта. Ведь использовать успешно раскрученный и известный на протяжении веков узнаваемый образ всегда менее рискованно, гораздо безопаснее и легче, чем создавать что-то новое. Увлечение строительством «имитационных» объектов едко комментировал в своем интервью знаменитый архитектор, лауреат Притцкеровской премии Фрэнк О.Гэри: «Печальное послание нашим потомкам гласит: мы не можем придумать ничего лучшего!»].

Основная цель возведения какого-либо «имитационного» объекта абсолютно очевидна - это коммерческая эксплуатация всемирно известного, раскрученного образа исторического прототипа, что позволяет повысить привлекательность здания для заказчиков/инвесторов/девелоперов, а также владельцев и собственников площадей - жильцов, в т.ч. для повышения эффективности коммерческих продаж и перепродаж. При такой постановке вопроса характерный облик возведенных зданий продиктован, главным образом, коммерческими требованиями консервативной современной моды (например, весьма популярная в последнее время ориентация на «ретро-стиль», стремление определенного слоя общества жить как «в роскошных древних дворцах и замках со шпилями и колоннадами» и проч.).

***2. Трансляция общей композиционной схемы объемного решения исторического прототипа или его фрагмента (иногда - его детализировки) в формы современных объектов.*** В данном случае транслируется общая композиционная тема и сюжет известного исторического объекта: для зрителя узнаваемым являются лишь общее очертание/силуэт его объема или его фрагмента; при этом детализировка и объемное решение остальных фрагментов со-

временного здания зачастую могут и не совпадать с конкретными деталями исторического прототипа.

Так получила свое развитие в национальном аспекте композиционная тема «*Арок*»: от исторических прототипов (стрельчатые арки культовых объектов Средней Азии: рисунки 27,з-и)- к ультрасовременным объектам, где сквозные стрельчатые арки служат основным выразительным композиционным и смысловым акцентом, а также важным компонентом национальной культурной идентификации: отель «Atlantis», Дубай, ОАЭ (рисунок 27,м); башня «Azadi», Тегеран, Иран (рисунок 27,к); гостиничный комплекс в Дубае, ОАЭ, архитектурное бюро Khatib & Alami (рисунок 27,л). Образной основой «национальных» архитектуры и дизайна в целом ряде случаев могут служить особенности местности, климата, а также характерные черты и предметы быта населения. Так, *силуэты песчаных барханов, а также национального жилища бедуинов* (рисунки 28,а-б) послужили образной основой создания легких тентовых оболочек современных торговых и общественных центров: «Sahara», Шарджа, ОАЭ (рисунок 28,в) и «Хан Шатыр», Астана, Казахстан (рисунки 28,г-д).

Дизайн современного отеля в Мериде, Мексика (рисунок 28,и), выполненного в виде многоярусной усеченной пирамиды, безусловно, навеян совокупным образом ритуальных пирамид эпохи ацтеков и майя (рисунки 28,е-з), хотя и не содержит прямых композиционных отсылок к ним.

Композиционные особенности «*складчатых пилонов*» (минареты и мавзолеи стран Ближнего Востока и Средней Азии: рисунки 29,а-г) легли в основу дизайна современных произведений архитектуры, имеющих очевидный «восточный» имидж: башни «Jin Mao Tower», Шанхай, Китай, арх.А.Смит (рисунок 29,е) и двухбашенного комплекса «Petronas Towers», Куала-Лумпур, Малайзия, арх.С.Пэлли (рисунок 29,д).

В русле развития национальных архитектурно-дизайнерских течений не остались забытыми и такие характерные исторические сооружения с выраженным региональным имиджем, как *пагоды* Китая и Японии (рисунки 29,ж-з). Ныне данные страны развивают композиционную тему «*многозвенных цепей*» уникальными высотными зданиями- проектом «Экополис» (рисунок 29,и), оте-

лем «Софител», Токио, Япония (рисунок 29,л), арх.К.Кикутаке; а также 500-метровым небоскребом «Taіrei-101», Тайбэй, Тайвань, арх.бюро С.У. Lee & Partners Architects (рисунок 29,к).

Несмотря на то, что развитие второй парадигмы вызвало к жизни появление целого ряда выразительных и уникальных художественных произведений современных национальных архитектуры и дизайна, перенесение имиджа известного оригинального исторического прототипа на современную новостройку может таить в себе ряд опасностей и предполагает очень высокую профессиональную культуру зодчего/дизайнера, тонко чувствующего композиционно-стилистическую черту, пересечение которой чревато появлением объектов, лишенных художественного вкуса. Ведь при работе в русле данной парадигмы выбор выразительных средств и способов их применения в каждом конкретном случае должен быть тщательно выверен и всегда специфичен.

***3.Композиционная интерпретация/переосмысление образов национальной культуры, деталей быта, знаков-символов, религиозной и эзотерической атрибутики в современных постройках в опосредованном (иногда- явном) виде.***

При формировании знаковых архитектурных объектов новой столицы Казахской Республики г.Астаны знаменитый японский архитектор К.Курокава рекомендовал придерживаться метода *абстрактного символизма*. Он считает, что данный метод будет наиболее эффективным и позволит государственной столице Казахстана в полной мере отразить культурное наследие и национальные художественные традиции казахского народа. Сущность метода сформулирована японцем так: «Абстрактный символизм использует легкодоступные для понимания, простые геометрические фигуры. Такие фигуры будут абстрактно выражать традиционные культурные символы Казахстана. Например, форма треугольника часто используется у кочевых народов в украшениях и нарядах, форма конуса- в головных уборах, форма овала или полуовала в виде луны или полумесяца используется как символ планеты Земля» [3, С.121].

Действительно, формы исторических национальных головных уборов женщин Казахстана «*саукеле*» имеют чаще всего конусообразный силуэт (ри-

сунок 30,а) и могут успешно транслироваться в архитектурные формы современных имиджевых объектов с ярко обозначенной региональной идентификацией. Именно поэтому сегодня знаковый административно-правительственный комплекс «Алтын Орда», наиболее четко выражающий национальную культурную принадлежность, составляют две конические «Золотые Башни» со шпилями, расположенные зеркально симметрично относительно главной композиционной оси центральной зоны градостроительной структуры столицы Казахстана (рисунки 30,б-г). *Именно так Архитектура и Дизайн полностью сливаются друг с другом в одном национальном культурном пространстве.*

Композиционной основой современной выразительной мексиканской региональной архитектуры могут служить отнюдь не только общие пирамидальные формы всемирно известных ритуальных сооружений цивилизаций ацтеков и инков. В ряде случаев для трансляции художественных образов прошлого могут успешно использоваться весьма характерные для данного региона *древние скульптурные настенные барельефы, рисунки, предметы быта и научные артефакты* (рисунки 31,а-г). Например, главное книгохранилище Национального университета Мексики в столице страны (арх.Х.О' Горман), выполненное в форме прямоугольного параллелепипеда с глухими стенами, по всей площади центрального и обоих боковых/торцевых фасадов сплошь покрыто многоцветным мозаичным панно (рисунок 31,д). И хотя рисунки современного панно библиотеки тематически никак не связаны с ритуальным/символическим подтекстом приведенных на рисунке слева исторических прототипов и не заимствуют их формы, а посвящены истории Мексики и развитию научных открытий (рисунок 31,е), они имеют очевидную образно-композиционную стилистическую аналогию-перекличку с характером древних изображений, что сразу же было отмечено мировой архитектурной критикой и получило значительный художественный резонанс в современном зодчестве.

Прогрессирует тенденция выполнения современных высотных зданий в форме *многовековых национальных иероглифов*. Так, один из китайских иероглифов (рисунок 30,д) послужил прототипом ныне строящегося в Китае небо-

скреба- рисунок 30,и (арх.бюро BIG); арабские же иероглифы (рисунок 30,е) легли в основу проекта небоскреба для ОАЭ (рисунок 30,к).

Здание «Guangzhou Circle» (т.н.«Золотой пончик» Гуанчжоу), имеющее форму кольцеобразного диска высотой 138 м с круглым отверстием посередине (рисунок 30,л), предложенное итальянским архитектором Дж.ди Паскуале, имеет четко обозначенный прототип аналогичной кольцевидной формы- древнекитайский символический артефакт *нефритовый диск Би* (рисунок 30,ж), олицетворяющий власть и высокое социальное положение владельца, приносящий ему благополучие и процветание, обеспечивающий его духовный рост.

[Вполне возможно, что у вышеописанных архитектурных решений есть какой-то особый сакральный подтекст, неведомый автору диссертации].

Одно из современных офисных зданий Поднебесной (рисунок 30,м) выполнено в виде стопки *национальных китайских древних монет* с квадратным отверстием посередине (рисунок 30,з), поставленных на ребро. В данном случае композиционный строй архитектурного решения объекта мотивирует зрителя к образному прочтению формы здания, как Символа процветания в бизнесе. Несмотря на оригинальный внешний вид, здание неоднократно жестко критиковалось в архитектурной прессе за формализм.

*Национальные верования* жителей Южной Кореи настоятельно предписывают возводить высотные здания со сквозными отверстиями в завершении (рисунок 32,а): в соответствии с ними, Духи должны иметь возможность свободно пролетать в отверстия около крыши, что обеспечит обитателям покой, безопасность и здоровье. Данное обстоятельство вполне может служить основанием для того, чтобы причислить дизайнерские решения сквозных отверстий в завершении зданий к характерным региональным/национальным особенностям современной высотной южнокорейской архитектуры.

Богатые возможности создания выразительных произведений национальной архитектуры в странах Ближнего Востока, Средней Азии и Кавказа по-прежнему таит традиционный многовековой путь *характерной цветофактурной и пластической детализировки фасадов*. На такой благодатной, наработанной столетиями формотворческой основе поиски новых современных форм

выразительных национальных декоративных мотивов имеют колоссальные художественные перспективы и до конца далеко не исчерпаны. Творчески переработанные накладные стрельчатые арки (многорядные и концентрические), а также угловые сотовые элементы-выемки на фасадах современных зданий Абу Даби и Дубая- вот лишь крохотная часть нового выразительного потенциала восходящей ближневосточной архитектуры (рисунок 32,б). При этом современное исполнение новых видов традиционно восточной изысканной геометрической орнаментики декоративных и солнцезащитных фасадных решеток, сталактитовых элементов, а также цветных мозаичных панно и малых архитектурных форм (рисунки 33-34) «звучит» не менее эффектно, чем в оригинальных исторических объектах-прототипах. [Сравнительный композиционный анализ показал, что по богатству современного фасадного декоративного орнаментального оформления своих жилых и общественных зданий Баку, Азербайджан (рисунок 35) отнюдь не уступает столицам семи эмиратов ОАЭ].

В противоположность странам Ближнего Востока, Средней Азии и Кавказа, уже давно, интенсивно и успешно воплощающим идею возрождения национальной архитектуры через использование многовековых дизайнерских традиций украшения поверхностей зданий самыми разнообразными вышеупомянутыми декоративно-художественными средствами, зодчие и дизайнеры таких стран Юго-Восточной Азии и Дальнего Востока, как Китай, Япония, Южная Корея, Индия, Бирма, Камбоджа, Индонезия, Таиланд, Сингапур, имеющих собственную ярко выраженную и наработанную веками палитру специфических декоративно-пластических средств образной национальной культурной идентификации архитектурных объектов, пока не торопятся их творчески перерабатывать и вводить в современный архитектурный контекст. [Разработка современной национальной декоративной пластики находится в этих странах сегодня в «замороженном» состоянии. Но именно в этом и кроется гигантский, пока не востребованный потенциал развития их национальной архитектуры и дизайна, практическая реализация которого- дело будущего].

Здесь мастерство региональных архитекторов/дизайнеров, тонко ощущающих местную специфику градостроительного контекста, заключается в неяв-

ном, завуалированном, опосредованном (зачастую- интуитивном) использовании традиционных черт и мотивов *в общем композиционном решении основных объемов и выявлении характерного силуэта*. Данное качество всецело проявляется в объемном построении современных высотных архитектурных объектов мегаполисов некоторых стран Юго-Восточной Азии, таких как Китай (вкл.Макао), Таиланд и Сингапур (рисунки 36,а-г). Дизайн фасадов данных объектов образно выражает «дух места»: совершенно очевидно, что эти здания были бы абсолютно чужеродными в градостроительном контексте, например, Нью-Йорка, Парижа, Милана или Москвы. Это возможно лишь в том случае, когда архитектор/дизайнер глубоко проникает в местные/региональные/национальные/этнические культурные традиции и практики (отнюдь не только архитектурно-строительные, но и живописные, бытовые, музыкальные, поэтические, духовные и др.). Ведь привнесение «национального» в современную архитектуру- процесс очень тонкий, предполагающий обязательную трансформацию/переосмысление/интерпретацию широко известных многовековых национальных художественных мотивов и традиционных форм. Именно такое многообразное, многослойное сочетание культурных особенностей, черт и нюансов позволяет создавать впечатляющие современные произведения архитектуры, а также ландшафтного и средового дизайна с ярко выраженной культурной идентификацией.

Следует отметить, что именно в рамках второй и третьей формотворческих парадигм создания произведений выразительных «национальных» архитектуры и дизайна чрезвычайно сильное значение приобретает *синтез пластических и изобразительных искусств*.

Возможно, что среди всех трех описанных выше парадигм две последние как раз и являются наиболее перспективными/оптимальными для создания выразительных современных произведений, зримо осуществляющих связь времен и исторических эпох.

Диалектика смыслового взаимодействия традиционных и новых форм в архитектуре и дизайне весьма интересно сформулирована и раскрыта знаменитым японским зодчим-практиком, лауреатом Притцкерской премии К.Танге:

«Традиция сама по себе не образует созидательной силы. Она всегда заключает в себе декадентскую тенденцию, способствующую формализации и повторению уже бывшего. Для того, чтобы направить ее к созиданию, необходима свежая энергия, которая отвергает мертвые формы и предохраняет живые от неподвижности. В известном смысле традиция, чтобы жить, должна постоянно подвергаться разрушению. В то же время разрушение как таковое не может создавать новые формы культуры. Должна быть и некая другая сила, которая ограничивает разрушительную энергию, предохраняя от возможности полного опустошения. Диалектический синтез традиции и антитрадиции образует структуру подлинного творчества» [30, С.42]. Там же указывается, что «смысл новых форм едва ли может быть получен научным путем- он может быть рожден только художественным творческим актом. Диалектика архитектурной формы как раз в том и заключается, что форма рождается «осмысленной по-новому», даже если морфологически она известна».

Все три пути/парадигмы/концепции создания объемных композиций в духе «национальной архитектуры и дизайна», сформулированные в работе, вполне могут быть востребованы в контексте развития современной культуры на волне всплеска национального самосознания. Они могут использоваться как по отдельности так и в сочетании друг с другом; при этом их применение требует особого композиционного таланта и далеко не всем современным зодчим и дизайнерам под силу.

Такой характерный и редкий талант присущ, например, создателям концепции японского «метаболизма»- К.Танге, К.Кикутакэ, К.Курокаве, А.Исодзаки,- которые с успехом интерпретировали яркие исторические прототипы- многоярусные пагоды,- создавая на этой принципиальной формотворческой основе шедевры современного высотного зодчества Японии. Изящное вантовое покрытие олимпийского центра «Йойоги» в Токио (арх.К.Танге), выполненное в современных конструкциях и материалах, не имеет прямых отсылок к истокам исторической японской архитектуры, однако определенно ассоциируется с формами изогнутых крыш древних японских храмов- именно в таком ненавязчивом, едва уловимом, но при этом явно ощущаемом привнесении «на-

ционального» и заключается подлинный художественный гений зодчего. Дух «национальной культуры Востока» пронизывает и такой шедевр современной архитектуры и дизайна, как «Burj Al Arab», Дубай, ОАЭ (арх.Т.Райт).

Увы, в мировой практике пока известны лишь немногочисленные случаи подобного вышеприведенным примерам удачного воплощения идеи «национальной архитектуры и дизайна».

Из достижений советской архитектурно-дизайнерской практики 1970-80х необходимо отметить ряд построек в столице Узбекистана Ташкенте (филиал Центрального музея им.В.И.Ленина- арх.Е.Розанов и др.; комплекс национальных бань «Хамом»- арх.А.Косинский и др.; выставочный зал Союза художников Узбекистана). Среднеазиатский художественный колорит, несомненно, присущ некоторым современным жилым и общественным зданиям столицы Казахстана (жилой комплекс «Сезам», здание Сената и Мажилиса Парламента и др.). В российском же современном зодчестве, за исключением ряда имиджевых объектов, возведенных в Нижнем Новгороде (административное здание на ул.Фрунзе и здание банка на ул.М.Покровской, архит.А.Е.Харитонов и Е.Н.Пестов, 1996г.), таких ярких прецедентов нет.

Практический *итог* данной части исследования заключается в следующем. Совершенно очевидно, что не существует каких-либо готовых рецептов создания архитектурно-дизайнерских шедевров в духе национальных культур. Единственный продуктивный путь содержательного воплощения в объектах ярких национальных культурных черт и особенностей- это создание *системной научной операционной платформы «национального» форматворчества.*

*Первый ее пункт*- предварительная тщательная научная аналитика проблемы: изучение характерных деталей и значительных вех многовековой истории сложения нации/страны (ее художественной культуры и быта) и параллельный глубокий всесторонний анализ мирового опыта (рассмотрение как положительных так и отрицательных примеров композиционных решений зданий и сооружений, выполненных в «национальном стиле», с обязательным выявлением и систематизацией конкретных композиционных средств и причин, определивших удачу или неудачу какого-либо конкретного стилистического

подхода). Разумеется, чем больше примеров будет собрано и рассмотрено, тем более эффективным будет практическое использование научной платформы.

*Второй ее пункт*- учет совокупности всех композиционных параметров собранных объектов в качестве путеводной нити для творческой архитектурно-дизайнерской практики: ведь характерные черты любой национальной культуры, какими бы яркими они ни были, настоятельно требуют определенного творческого переосмысления/переработки и в большинстве случаев не подлежат прямому заимствованию и трансляции в современный градостроительный контекст. Формотворческая системная научная платформа служит инструментальной основой для практического воплощения творческих идей архитекторов-концептуалистов и дизайнеров, нацеленных на создание современных шедевров зодчества, имеющих определенную, четко выраженную национальную принадлежность. В данном случае тонкий художественный вкус и персональный формотворческий талант зодчего или дизайнера являются неперенными, обязательными условиями создания полноценного архитектурного произведения, способного вызвать большой общественный резонанс.

Автором в виде обобщенных объемных моделей представлены некоторые узнаваемые всеми оригинальные исторические прототипы (рисунок 36,д), которые при их умелой профессиональной интерпретации/переосмыслении и удачной композиционной трансляции в современную архитектуру способны дать новое качество визуальных исторических связей, повысить интегральные выразительные качества градостроительной среды в целом, создавая более сложный, многозвучный и многозначный социально-культурный контекст. [В настоящее время автором проводятся новаторские научно-творческие эксперименты по получению современных форм в русле «национальной русской архитектуры», в т.ч. высотной. Результаты этих творческих поисков и экспериментов в настоящей работе не приведены].

Творческое переосмысление своеобразных, самобытных культурных традиций и черт (символических, бытовых, духовных и проч.) и тонкое привнесение национальных художественных мотивов в объемные композиционные решения может придать современной имиджевой архитектуре новое, специ-

фическое образное звучание и колорит, показать в концентрированном виде ярко выраженную региональную уникальность, что в итоге позволит поднять современные мировое зодчество и дизайн на качественно новый уровень. ***Образная преемственность архитектурно-дизайнерских форм с одновременным умелым творческим переосмыслением культурных традиций***- вот основная диалектическая формула наиболее продуктивного развития «национальных» зодчества и дизайна в любой стране современного мира» [341].

### **Выводы по 1 главе**

1. Рассмотрен феномен «универсальности формы» в современном дизайне на показательных примерах многофункционального практического использования собственных формотворческих разработок.

2. Систематизированы семь основных классов регулярных дискретных структур, перспективных в контексте развития современных дизайна и зодчества и рассматриваемых в работе в качестве *объекта* исследования: -сферические изоэдральные разбиения и звездчатые/сотовые многогранники на их основе; -складчатые структуры, в т.ч. трансформируемые из плоскости; -решетчатые структуры из стержней или ребер; -квазимногогранные структуры, имитирующие плоскогранные многогранники; -составные линейчатые структуры из отсеков основных линейчатых поверхностей; -пластинчато-стержневые/комбинированные структуры; -замкнутые многогранные структуры.

3. Произведена детальная систематизация двадцати шести актуальных *направлений практического использования* результатов абстрактного геометрического формотворчества в дизайне и архитектуре, в т.ч. «пограничных» сфер, в которых могут быть одновременно эффективно задействованы специалисты обоих родственных профессий. Раскрытие этих направлений- востребованная, но при этом практически абсолютно неизученная на сегодняшний день перспективная область технической эстетики.

Представленная отраслевая систематизация не может считаться окончательно завершенной и в процессе дальнейших исследований возможностей регулярного дискретного структурирования в дизайне будет расширяться и дополняться новыми направлениями и группами функциональной типологии.

Открываемые в процессе научных и творческих поисково-экспериментальных исследований новые качества и морфологические закономерности формообразования регулярных дискретных структур, определяющие их значительный художественно-эстетический и конструктивно-технологический потенциал, способствуют как улучшению основных потребительских качеств выпускаемой продукции так и *постоянному расширению диапазона областей их эффективного практического использования* в промышленном, средовом и интерьерном дизайне, а также зодчестве различных стилистических направлений, что в полной мере отвечает идеологии и задачам научно-технического и социального прогресса в XXI веке.

4. Произведена морфологическая систематизация одиннадцати принципиальных направлений архитектурно-дизайнерского формотворчества с обозначением конкретного операционного геометрического инструментария моделирования новых форм с регулярной дискретной структурой. Изложены наиболее значимые социально-технические стратегии, мотивационные идеологические установки, а также особые художественные парадигмы, которые в ряде случаев являются определяющими факторами процесса моделирования и выбора конкретной формы объекта. Приведены примеры использования различных способов и методик формообразования в рамках каждого из направлений, в т.ч. авторские методики и результирующие структуры.

5. Рассмотрены некоторые проблемные аспекты архитектурно-дизайнерского формообразования в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции (-принципиальные особенности формотворчества в дизайне и зодчестве; -факторы, способствующие прогрессу или регрессу формотворческих направлений в рамках обеих профессий; -фундаментальная проблема гармоничного баланса региональных и интернациональных тенденций развития дизайна и архитектуры в контексте становления национального самосознания и национальной культурной самоидентификации).

Отмечена прогрессирующая тенденция расширения диапазона «пограничных» сфер, которые в равной степени могут служить областями профессиональной деятельности архитекторов и дизайнеров. При этом абсолютно «бес-

хозными» остаются интереснейшие научно-творческие направления, находящиеся на стыке дизайна и архитектуры: конструктивно-художественное формообразование *акустических оболочек* (многослойные поглощающие конструкции, звукорассеивающие экраны стен и потолков), а также *строительных несущих элементов* серийного/массового промышленного производства (покрытия зданий и сооружений, структурные плиты, опоры, фермы, балки) и *модульных облицовочных элементов строительной индустрии* (литые/вырезные стеновые и потолочные панели и плитки, штампованные/гнуемые профили и листы, накладные декоративные рельефы из различных материалов и др.).

Впервые определены и систематизированы основные парадигмы использования регулярных дискретных структур в современной архитектуре, средовом и интерьерном дизайне в контексте прогрессирующего развития *национального самосознания/самоидентификации* в различных странах мира, а также показаны наиболее действенные, эффективные композиционные средства/приемы/способы их осуществления. Сделан вывод о необходимости создания операционной платформы «национального» формотворчества, включающей два блока исследовательских и творческих задач. Образная преемственность архитектурно-дизайнерских форм с одновременным творческим переосмыслением культурных традиций- ключевая идеологическая посылка продуктивного развития «национальных» зодчества и дизайна в любом регионе мира.

б. В качестве *итога* можно определенно констатировать- сегодня очевидна насущная необходимость продолжения исследований абстрактной формотворческой проблематики в дизайне и архитектуре с углубленным изучением актуальных вопросов компьютерного и объемного экспериментально-поискового моделирования (в т.ч. с использованием новейших информационных технологий) эффективных регулярных дискретных конструктивных структур, способных существенно расширить диапазон новых формотворческих возможностей современных дизайна и зодчества а, следовательно, повысить их профессиональный потенциал и обозначить наиболее действенные пути будущего научно-технического и социально-культурного прогресса.

## ГЛАВА 2.

### **Научно-методические основы геометрического моделирования новых регулярных дискретных структур различных морфологических классов**

#### **2.1. Основы теории плотнейшего заполнения трехмерного пространства равными многогранными модулями. Моделирование компактных пространственных многомодульных структур**

«Перспективы использования многомодульных структур с плотнейшей компоновкой составляющих однотипных блоков в дизайне и зодчестве практически безграничны: от упаковки и акустических многослойных ячеистых конструкций до многоблочных жилых структур в экстремальных средах, а также критических условиях. Следовательно, любые научно-практические достижения в данной сфере могут рассматриваться как существенный вклад в технологический прогресс современной цивилизации.

В течение многих веков выдающиеся ученые мира пытались решить актуальнейшую проблему плотнейшего заполнения трехмерного пространства идентичными замкнутыми многогранными элементами конечных размеров. Проблема заполнения трехмерного пространства одинаковыми (в т.ч. зеркально равными) выпуклыми непризматическими многогранниками не решена до сих пор и поэтому привлекает пристальное внимание выдающихся ученых-теоретиков и экспериментаторов различных стран мира.

В настоящее время не существует единой теории плотнейшего заполнения пространства идентичными многогранниками различных классификационных типов, обобщающей основные методики их формообразования.

Цель данного раздела работы - создать научные основы такой теории.

В представленной работе определены принципиальные *топологические типы многогранников, плотнейшим образом заполняющих трехмерное пространство* (т.е. состыкованных без взаимного пересечения и возникновения промежутков между ними); при этом углы, длины сторон и пропорции элементов для настоящего исследования не являются существенными. Одновременно выявлены возможные *схемы пространственной компоновки* идентичных многогранных модулей плотнейшего заполнения пространства, а также описаны

необходимые и достаточные геометрические условия модульной компоновки, выполнение которых является обязательным для создания многообразных топологических типов плотноупакованных трехмерных структур.

Смежные *идентичные/одинаковые* многогранники (т.е. способные полностью совмещаться друг с другом посредством переносов или поворотов/переворотов, без использования операции зеркального отображения, когда получаются зеркально равные, но не абсолютно идентичные фигуры) могут стыковаться в пространстве по целым одинаковым граням или со сдвигом совмещенных граней относительно друг друга. При этом в сферу рассмотрения входят как *выпуклые* так и *невыпуклые многогранники*, имеющие сплошную замкнутую ограниченную поверхность из состыкованных по прямолинейным ребрам плоских многоугольников. В работе не исследуются трехмерные объекты, содержащие отсеки криволинейных (в т.ч. линейчатых) поверхностей, очерченных кривыми контурными линиями, а также формы, составленные из отсеков плоскости с криволинейным контуром.

Исследования автора показали, что плотнейшее заполнение трехмерного пространства одинаковыми замкнутыми многогранниками может осуществляться четырьмя принципиальными путями, определяющими соответствующие методики получения плотноупакованных пространственных структур.

**1. «Слои/плиты».** Трехмерное пространство может плотнейшим образом заполняться бесконечными по длине и ширине *слоями/плитами*, имеющими одинаковую/фиксированную толщину, уложенными вплотную друг к другу и содержащими плотно состыкованные между собой идентичные элементарные многогранники.

Внутренняя структура какого-либо типового слоя формируется путем плотнейшей состыковки одинаковых прямых или равнонаклонных выпуклых или невыпуклых призматических многогранников, все боковые ребра которых равны и параллельны между собой, а соответствующие противолежащие плоские многоугольные основания стыкуются друг с другом с образованием двух бесконечных сплошных параллельных граничных плоскостей плотнейшим образом, т.е. без зазоров и взаимных пересечений (компоновка типового слоя из

одинаковых прямых призм показана на схеме (рисунок 37.1,а), а из наклонных- на рисунке 37.1,б.

[Одинаковые многоугольники, паркетизирующие какую-либо плоскость плотнейшим образом, т.е. без зазоров и наложений/взаимных пересечений, в кристаллографической геометрии носят название *планигонов* или *изоэдров* [27], [83], [95]-[99], [124]. Таким образом, основаниями составляющих типовой слой одинаковых призматических многогранников могут являться как *выпуклые* так и *невыпуклые многоугольники-изоэдры* (некоторые из них показаны на рисунках 37.3-4 и рисунке 38.1).

Прямые призмы какого-либо типового слоя (рисунок 37.1,а) могут иметь в основании любой из возможных типов известных изоэдров.

Равнонаклонные же призмы какого-либо слоя (у которых все параллельные и равные боковые ребра равнонаклонны к граничным параллельным плоскостям- рисунок 37.1,б) имеют существенное ограничение. Для того, чтобы быть идентичными в пределах слоя, наклонные призмы должны иметь в основании многоугольник-изоэдр, паркетизирующий плоскость посредством *параллельных переносов* (в данном случае все варианты изоэдров, паркетизирующих плоскость только лишь посредством зеркально-симметричных отображений, категорически исключаются). Среди выпуклых многоугольников таковыми являются *параллелогоны* (современная кристаллография насчитывает только восемь их типов- рисунки 37.3,а-з); среди же невыпуклых многоугольных изоэдров таковых может быть множество (некоторые приведены на рисунке 37.4 и рисунке 38.1).

После того, как какой-либо типовой слой сформирован из массива идентичных выпуклых или невыпуклых прямых или наклонных призматических элементарных многогранников, расположенных между двумя параллельными граничными плоскостями, система аналогичных слоев способна плотнейшим образом заполнить все трехмерное пространство. Смежные слои укладываются вплотную друг к другу с сохранением какой-либо регулярности взаимного расположения либо могут смещаться/сдвигаться по совмещенным граничным

плоскостям или произвольно разворачиваться/переворачиваться в любую сторону.

**2. «Стержни/пилонь».** Трехмерное пространство может плотнейшим образом заполняться бесконечными по длине одинаковыми призматическими *стержнями*, имеющими многоугольное замкнутое поперечное сечение, конфигурация которого позволяет осуществлять плотнейшую пространственную стыковку массы стержней по боковым граням (такие сечения приведены на рисунках 37.3-4 и рисунке 38.1); при этом типовой стержень состоит из одинаковых соосных выпуклых или невыпуклых элементарных многогранников конечной величины, последовательно состыкованных вдоль его продольной оси. Внутренняя структура какого-либо типового стержня формируется путем подразделения его массива на одинаковые и конечные по величине многогранники системой сквозных секущих плоскостей (некоторые топологические схемы подразделения типового стержня на равные соосные многогранные модули показаны на рисунке 37.2).

При подразделении тела стержня на идентичные соосные многогранные блоки системой *независимых равноудаленных друг от друга параллельных секущих плоскостей-срезов, перпендикулярных или равнонаклонных к его продольной оси* (рисунки 37.2,а-б), поперечное сечение стержня может представлять собой любой выпуклый или невыпуклый многоугольник-изоэдр (рисунки 37.3-4 и рисунок 38.1). То же самое справедливо и в случае равноэлементного подразделения массива стержня системой *независимых равноудаленных друг от друга идентичных непрерывных полных срезов, параллельных между собой и имеющих полигональную/ломаную конфигурацию* (зигзагообразную- рисунки 37.2,р,ш), в т.ч. и *произвольную асимметричную*. В данных случаях пространственная ориентация параллельных секущих плоскостей или полигональных срезов относительно боковых граней и продольной оси типового стержня может быть произвольной, т.к. параллельность идентичных по конфигурации плоскогранных призматических срезов и равная дистанция между ними гарантируют абсолютную одинаковость полученных многогранных блоков при любом многоугольном очертании поперечного сечения стержня. Здесь единст-

венное необходимое условие- *единообразное расположение параллельных полигональных призматических срезов вдоль оси стержня.*

Остальные четыре варианта подразделения тела типового стержня на одинаковые соосные многогранные блоки могут быть организованы: а) системой *независимых ритмически чередующихся разнонаклонных секущих плоскостей  $Z$  и  $S$*  (рисунки 37.2,в-м); б) *многоячейстой полигональной секущей сетью, образованной регулярной системой пересекающихся участков плоских срезов тела стержня-* (рисунки 37.2,н-о,с-ц); в) системой *независимых равноудаленных идентичных полигональных полных срезов, смежные из которых имеют зеркально симметричную пространственную ориентацию* (см. рисунки 37.2,п,ч); г) *«кристаллическими» многогранными объемными усечениями* (они подробно рассмотрены далее).

Для соблюдения обязательного исходного условия- идентичности составляющих многогранных блоков- три первых вышеуказанных варианта подразделения типового стержня имеют существенные ограничения.

Во-первых, поперечным сечением какого-либо типового стержня должны являться выпуклые или невыпуклые многоугольные изоэдры, имеющие *две взаимно перпендикулярные оси зеркальной симметрии* (некоторые поперечные сечения с такими осями отмечены на рисунках 37.3-4).

Во-вторых, независимые разнонаклонные секущие плоскости  $Z$  и  $S$ , а также прочие сечения полигонального очертания в каждом конкретном случае должны быть *ориентированы в направлении какой-либо одной из осей зеркальной симметрии поперечного сечения стержня, т.е. перпендикулярными некоторой плоскости, нормальной к данной оси.* [Особый случай- квадратное и крестообразное поперечные сечения, имеющие по две пары взаимно перпендикулярных осей зеркальной симметрии (рисунки 37.3-4). В этом случае вышеуказанное требование ориентации секущих плоскостей  $Z$  и  $S$ , а также разнообразных сложных сечений по направлению лишь одной из осей зеркальной симметрии сечения стержня также является обязательным].

В-третьих, особые ограничения наложены на конфигурацию полигональных сквозных срезов типового стержня. Так, многоячейстая полигональ-

ная секущая сеть, образованная регулярной системой пересекающихся участков плоских срезов тела стержня (вариант «б»), должна иметь *поворотную ось симметрии второго порядка, перпендикулярную продольной оси стержня*, либо содержать *плоскость скользящего отражения, проходящую через его продольную ось*. А каждый из независимых полигональных полных срезов тела стержня, расположенных зеркально симметрично относительно друг друга (вариант «в»), должен иметь *поворотную ось симметрии второго порядка, перпендикулярную продольной оси стержня*.

После того, как при выполнении всех вышеописанных обязательных условий какой-либо типовой стержень сформирован из идентичных соосных выпуклых или невыпуклых замкнутых многогранников, масса аналогичных стержней, примыкая друг к другу по боковым граням, способна плотнейшим образом заполнить все трехмерное пространство. Смежные стержни вплотную примыкают друг к другу с сохранением какой-либо регулярности либо могут смещаться/сдвигаться по совмещенным боковым граням вдоль своей продольной оси и разворачиваться в какую-либо сторону любым допустимым образом с сохранением абсолютной плотности их совокупной стыковки.

**3. «Капсулы».** Трехмерное пространство может плотнейшим образом заполняться одинаковыми непризматическими многогранными замкнутыми *капсулами* (их некоторые выпуклые разновидности представлены на рисунок 40, верхний ряд). Данные непризматические капсулы не компонуются плотнейшим образом ни в вышеописанные классические «слои», заключенные между двумя параллельными граничными плоскостями, ни в призматические «стержни». Они заполняют пространство лишь одним образом- так называемыми *«кристаллическим слоями»*, смежные из которых вкладываются один в другой до полного взаимного соприкосновения. [Принципы и технологии образования «кристаллических слоев» из выпуклых непризматических многогранников, а также их основные топологические разновидности и результирующие составные пространственные структуры на их основе описаны и показаны ниже и в п.2.2. При этом в п.2.3 указано, как плотнейшие равноэлементные пространственные разбиения получаются из кристаллических слоев на основе *невыпуклых*

многогранных «капсул», представляющих собой *многовариантные составные комбинации выпуклых базовых многогранников, и примыкающих к ним боковых /торцевых прямых призм и/или пирамид*].

Выпуклые непризматические многогранники-«капсулы» плотнейшего заполнения пространства могут быть разделены плоскостями зеркальной симметрии на абсолютно идентичные «*половинные*» (рисунок 40, горизонтальный ряд 2) и «*четвертные*» (там же, ряд 3) непризматические многогранники, а также и на более мелкие фрагменты. В отличие от целых непризматических многогранных «капсул», масса их одинаковых «половинок» или более мелких частей, плотно стыкуясь друг с другом по целым граням во встречных направлениях, способна образовывать особую разновидность *классического типового слоя одинаковой толщины*, две бесконечные параллельные противоположащие граничные плоскости которого формируют плотно примыкающие друг к другу основания соответствующих встречно ориентированных составляющих непризматических блоков. Такие слои укладываются вплотную друг к другу произвольным образом (зеркально симметрично, ритмичным параллельным переносом типового слоя, с произвольным асимметричным смещением, разворотом и т.д.), при этом образуя плотнейшее/сплошное дискретное заполнение трехмерного пространства.

**4. «Полосы/ленты» и «бруски».** Вышеописанные классические *слои и стержни* плотнейшего заполнения пространства в ряде случаев имеют особую разновидность- они получают форму бесконечных составных *полос/лент* или *брусков* с индивидуальным по длине поперечным сечением; при этом в общем случае постоянные в каждом конкретном случае толщина и ширина полосы/ленты/бруска фиксируются двумя парами противоположащих граничных/контурных плоскостей, из которых по крайней мере одна пара обязательно составлена *параллельными плоскостями* (рисунок 38.2). Возможно образование *полос/лент* с периодическим поперечным сечением (например, ограниченных продольными зигзагообразными или трапециевидальными контурными линиями, которые могут быть параллельными или иметь встречную ориентацию, выполняться с различной амплитудой и др.). Также возможно образование по-

лос/лент с различным типом контурных линий (например, зигзагообразная и противоположная прямая кромки и др.).

В отличие от *полос/лент* габариты постоянного поперечного сечения *брусков* являются соизмеримыми величинами. При этом у *брусков*, в отличие от *стержней* (п.2), составляющие идентичные многогранные модули не являются соосными.

Поперечное сечение составных *полос/лент* или *брусков* может выполняться прямоугольным/квадратным, трапециевидным или параллелограмматическим/ромбическим (рисунок 38.3). Данные объекты komponуются из одинаковых конечных по размерам *выпуклых* или *невыпуклых призм* (прямых, наклонных, усеченных/клиновидных). Некоторые возможные схемы их равноэлементной компоновки представлены на рисунке 37.2 и рисунке 38.4 (приведенные схемы в равной степени отражают как варианты продольного сечения «полос/брусков» так и разновидности разбиения их ленточных граничных плоскостей). Поэтому любая из двух пар противоположащих контурных плоскостей, ограничивающих боковую поверхность каких-либо *полосы/ленты* или *бруска*, может быть образована как плотно состыкованными одинаковыми торцевыми основаниями составляющих *призм-модулей* так и их боковыми гранями.

Также эти объекты могут собираться из ряда идентичных «*половинок*» или «*четвертинок*» (рисунок 40, горизонтальные ряды 2 и 3) некоторых топологических типов полных «капсул» (там же, верхний ряд). При этом в процессе образования разновидностей *полос/лент* или *брусков* отдельные участки формы данных «*половинок*» или «*четвертинок*» могут дополнительно удлиняться или отсекаются. Возможна компоновка *полос/лент* или *брусков* из однотипных/зеркально равных модулей, представляющих собой еще более мелкие фрагменты исходной «капсулы» (1/8 и т.д.).

После того, как какие-либо типовые *полоса/лента* или *брусочек* составлены из идентичных *выпуклых* или *невыпуклых замкнутых многогранников*, на первой стадии заполнения пространства масса аналогичных объектов, плотнейшим образом примыкая друг к другу по боковым контурным граням, образует

сплошной бесконечный производный «слой» одинаковой толщины. Полосы/ленты или бруски стыкуются друг с другом в производный равнотолщинный типовой слой с соблюдением какой-либо регулярности либо смещаются/сдвигаются по боковым контурным граням в произвольной асимметричной комбинации с сохранением абсолютной плотности их совокупной стыковки. Далее, на второй стадии плотнейшего заполнения пространства совокупность полученных таким способом безразмерных производных типовых слоев, плотно стыкуясь друг с другом по параллельным граничным плоскостям, способна сплошным образом заполнить все трехмерное пространство. При этом смежные производные слои стыкуются друг с другом с соблюдением какой-либо регулярности либо произвольным образом смещаются/разворачиваются относительно друг друга, образуя топологически разнородные асимметричные дискретные плотноупакованные структуры» [331].

«Далее детально раскрываются некоторые существенные категории кристаллографического морфогенеза, определяющие качественное многообразие комбинаторных вариантов технических решений.

**«Кристаллические» многогранные объемные усечения** - один из способов создания новых типов идентичных непризматических невыпуклых многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства путем особого ритмического подразделения толщи призматических «*стержней*» с различным поперечным сечением. Кроме того, полученные модули могут образовывать также и сплошные «кристаллические слои».

*По своей общей форме и контурному очертанию* кристаллические объемные усечения подразделяются на: -пирамидальные (а- классические: с треугольными и трапециевидальными гранями; б- трехромбовые; в- четырехромбовые); -клиновидные; -сложные (многогранные полусферические, бутанообразные и др.). *По расположению и структуре многогранной секущей поверхности* кристаллические усечения противоположащих участков объема модуля бывают: -выпуклыми; -вогнутыми; -комбинированными/выпукло-вогнутыми; -регулярными/симметричными; -иррегулярными/асимметричными; -однонаправленными; -разнонаправленными; -одинаковыми; -различными.

В общих случаях кристаллические объемные усечения оформляют *два противоположащих торцевых участка модуля* какого-либо типового стержня или кристаллического слоя (рисунки 38.5,а-в; л,н,о). Разнонаправленные остроугольные кристаллические усечения торцов характерны в основном для выпуклых непризматических «капсул».

Однако кристаллические преобразования/усечения могут осуществляться и для *боковых поверхностей* составляющих идентичных модулей (этот способ приемлем в основном для исходных элементов-параллелоэдров).

*Комбинированный вариант* с одновременным кристаллическим усечением противоположащих торцевых участков и преобразованием противоположных боковых поверхностей модулей (рисунок 38.5,м) также приемлем в основном для исходных элементов-параллелоэдров. В этом случае окончательная стыковка сформированных из этих модулей типовых стержней или кристаллических слоев в бесконечную плотноупакованную дискретную пространственную структуру может осуществляться каждый раз только лишь в одном строго индивидуальном топологическом варианте (рисунок 38.5,р).

Для соблюдения обязательного исходного условия- идентичности составляющих многогранных блоков- моделирование торцевых параллельных объемных кристаллических усечений типового модуля имеет строго установленное ограничение/правило: *геометрия поверхности выпуклого участка многогранного усечения объемного модуля должна точно соответствовать форме, расположению и контуру поверхности многогранной «выемки» на его противоположащем конце*. Это также касается *комбинированных выпукло-вогнутых усечений* противоположащих торцевых участков какого-либо типового модуля (принципиальная схема стыковки модулей с параллельными торцевыми кристаллическими усечениями выпукло-вогнутого типа- рисунок 38.5,п).

При этом в случае преобразования *боковой многогранной поверхности* исходного призматического модуля это правило формулируется так: *отсеченный от тела модуля в определенной зоне его боковой поверхности фрагмент объема с кристаллической секущей поверхностью, образующий «выемку», должен быть целиком перемещен параллельным переносом на точно соответ-*

вующую противоположающую область боковой поверхности и присоединен к телу модуля, образуя аналогичную по форме и контуру «выпуклость».

В отдельных случаях поверхности противоположающих торцевых «выпуклости» и «выемки» усеченного объемного модуля могут быть развернуты относительно друг друга на  $60^{\circ}$  (рисунок 38.5,в).

Исследованием установлено, что невыпуклые идентичные «капсулы», содержащие различные кристаллические и призматические усечения противоположающих торцевых участков (рисунки 38.5,н,о), стыкуясь по боковым граням, также способны образовывать типовые бесконечные «кристаллические слои» плотнейшего заполнения пространства. Такие смежные слои, стыкуясь друг с другом, смещаются/сдвигаются или переворачиваются один относительно другого обратной стороной (одна из возможных схем их стыковки показана на рисунке 39.1,л).

***Новые разновидности непризматических многогранных модулей-«капсул» плотнейшего заполнения трехмерного пространства.***

***А. Конгломераты-*** комбинированные невыпуклые объемы плотнейшего заполнения пространства, составленные из полуправильных и правильных многогранников. Среди них прежде всего необходимо отметить такие комбинированные объемные модули, как «ромбоусеченный кубооктаэдр + усеченный октаэдр + три куба» (рисунок 38.5,е); «ромбокубооктаэдр + два тетраэдра + куб» (рисунок 38.5,ж); «ромбокубооктаэдр + кубооктаэдр + три куба» (рисунок 38.5,з); «кубооктаэдр + октаэдр» (рисунок 38.5,и). Возможно образование и других конгломератов (например, «усеченный гексаэдр + октаэдр» и проч.).

***Б. Неоднородно деформированные непризматические многогранные выпуклые модули плотнейшего заполнения пространства*** (рисунки 39.1,б-и,н).

Настоящим исследованием установлено, что выпуклые непризматические модули-«капсулы» плотнейшего заполнения пространства, которые могут быть подразделены плоскостями зеркальной симметрии на равные идентичные «половинки» (рисунок 40, верхний ряд), обладают замечательным свойством. Одна из автономных «половинок» модуля с любой стороны от разделяющей

плоскости симметрии может быть *синхронно трансформирована (вытянута/сжата) в направлении, перпендикулярном данной плоскости симметрии*, без потери главного качества «капсулы»- ее способности плотнейшим образом заполнять все трехмерное пространство. Далее такие фрагментарно трансформированные модули-«капсулы» стыкуются по боковым граням с образованием бесконечных «кристаллических слоев», смежные из которых в процессе плотного взаимного соединения переворачиваются один относительно другого обратной стороной (принципиальная схема их стыковки показана на рисунке 39.1,к). В данных случаях неоднородное изменение геометрии «капсул» при их однократной фрагментарной синхронной трансформации существенно изменяет симметрические характеристики и внешний вид результирующих многогранников, придавая им каплевидное очертание (рисунки 39.1,б,г-и).

Возможна также последовательная *двухэтапная синхронная трансформация* исходной формы модулей-«капсул» перпендикулярно каким-либо двум взаимно ортогональным плоскостям их зеркальной симметрии, обуславливающая получение двукратно деформированных кристаллических модулей плотнейшего заполнения пространства, имеющих *сплюснутое дискообразное очертание* (рисунок 39.2).

[Последовательная же *трехэтапная синхронная трансформация* исходной формы модулей-«капсул» перпендикулярно всем трем взаимно ортогональным плоскостям их зеркальной симметрии в итоге обуславливает получение *полностью асимметричных результирующих многогранников плотнейшего заполнения пространства*; однако в этом случае «капсулы» смежных кристаллических слоев плотнейшей трехмерной дискретной упаковки являются *зеркально равными*, но не идентичными].

Способностью к синхронной фрагментарной трансформации обладает также и выпуклая «капсула» плотнейшей пространственной компоновки, завершенная двумя одинаковыми противоположащими пирамидальными ромбическими «трилистниками», развернутыми относительно друг друга на  $60^{\circ}$ , нанизанными вершинами на продольную ось поворотной симметрии третьего порядка и объединенными поясом боковых граней-параллелограммов (рисунок

39.1, а). В данном случае ее осевая фрагментарная синхронная трансформация может быть осуществлена независимо для одного или обоих вершинных ромбических «трилистников» на произвольную различную величину; при этом боковые параллелограмматические грани превращаются в трапеции (рисунок 39.1,б). Дальнейшее преобразование этого фрагментарно трансформированного модуля осуществляется *с изменением его топологии*: деформированные на разную величину противоположащие «трилистники» сближаются друг с другом вдоль оси и стыкуются по соответствующим вершинам; при этом боковые трапециевидальные грани вырождаются в соответствующие треугольники (рисунок 39.1,в).

Кроме того, возможна однократная синхронная общая (не фрагментарная) деформация всех типов выпуклых и невыпуклых «капсул» с тремя плоскостями зеркальной симметрии, расположенными под углом в  $120^0$  друг к другу (рисунки 38.5,б-в; рисунки 39.1,а-д; рисунок 40, верхний ряд, типы В,С,Д, Е,Г,Н). Такая деформация может осуществляться как для исходного многогранного модуля так и для уже фрагментарно деформированного (описание приведено выше) и производится в направлении, перпендикулярном его оси в одной из выбранных плоскостей зеркальной симметрии» [332].

## **2.2. Моделирование выпуклых непризматических многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства**

«Цель настоящей части исследования- более детально раскрыть некоторые существенные позиции предложенной теории, дополнить и конкретизировать предложенные формотворческие технологии, тем самым обозначив новые перспективные пути развития сферы кристаллографического формообразования. Представляется расширенная номенклатура выпуклых непризматических многогранников плотнейшего заполнения пространства, которые являются зеркально равными (в т.ч. одинаковыми) частями базовых многогранных модулей, но при этом способны при стыковке друг с другом образовывать самостоятельные *топологически разнородные* (комбинаторно неизоморфные) результирующие плотноупакованные составные структуры.

Исследование проведено с использованием методики компьютерного графического экспериментально-поискового моделирования. Для анализа выделены четырнадцать типов известных выпуклых непризматических базовых исходных модулей плотнейшего заполнения пространства (рисунок 40, верхний ряд).

Принципиальная методология графического конструирования, осуществленного в исследовании, заключается в том, что *данные непризматические базовые модули подвергаются последовательным зеркальным подразделениям на более мелкие составные части, которые далее анализируются на предмет определения их способности образовывать новые самостоятельные комбинаторно/топологически неизоморфные составные многогранные структуры с плотнейшей компоновкой этих одинаковых (в т.ч. зеркально равных) частей.* Стадии последовательного зеркального подразделения все уменьшающихся составных частей базовых модулей производятся до тех пор, пока очередной многогранник не потеряет способность образовывать зеркально симметричные части. [При этом следует оговориться, что в работе не рассматриваются элементарные многообразные выпуклые призматические модули (прямые или наклонные), способные при взаимной состыковке образовывать бесконечное число вариантов плотноупакованных структур].

1. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «А» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль включает два зеркально симметричных противоположащих четырехгранных элемента из одинаковых ромбов; при этом боковая поверхность модуля образована четырьмя зеркально симметричными гранями в виде равнобедренных шестиугольников (модуль относится к типу параллелоэдров и часто именуется как «двусторонне заточенный карандаш»). В данном случае все операции подразделения осуществляются относительно оси симметрии, проходящей через противоположащие четырехгранные вершины, образованные двумя группами ромбов.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины исходного модуля а.1 - а.3 (горизонтальный блок 2), способные образовывать новые «слои» и

«полосы» плотнейшего заполнения пространства. Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения ( $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  части в горизонтальных блоках 3, 4, 5) позволили определить ряд новых выпуклых многогранных модулей (a.4 - a.13), способных образовывать новые «слои», «стержни» и «бруски» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы a.12 и a.13 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «А», т.к. не способны далее образовывать зеркально симметричные отсеки.

2. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «В» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль- *ромбододекаэдр*- представляет собой параллелоэдр, содержащий два зеркально симметричных четырехгранных элемента из одинаковых ромбов; при этом данные элементы соединены по четырем вершинам и объединены четырьмя боковыми гранями в виде аналогичных ромбов. В данном случае все операции подразделения осуществляются относительно оси симметрии, проходящей через противоположные четырехгранные вершины, образованные двумя группами ромбов.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины исходного модуля- b.1 и b.2 (горизонтальный блок 2), способные образовывать новые «слои» и «полосы» плотнейшего заполнения пространства. Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения ( $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  части в горизонтальных блоках 3, 4, 5) позволили определить ряд новых выпуклых многогранных модулей (b.3 - b.12), способных образовывать новые «слои», «стержни», «бруски» и «полосы» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы b.11 и b.12 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «В»- они в дальнейшем не способны образовывать зеркально симметричные части.

3. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «С» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль представляет собой особую разновидность предыдущего: здесь все операции подразделения осуществляются относительно оси, проходящей через противоположные трехгранные вершины, образованные ромбами; при этом боковые гра-

ни представляют собой аналогичные ромбы или параллелограммы, смежные из которых расположены зеркально симметрично относительно друг друга.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины и зеркальные трети исходного модуля- с.1 - с.3 (горизонтальный блок 2). Из них объемы с.1 и с.2 способны образовывать новые «слои» и «капсулы» плотнейшего заполнения пространства.

Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения ( $1/4$  и  $1/8$ , а также  $1/6$  части в горизонтальных блоках 3, 4) позволили определить новые выпуклые многогранные модули (с.4 - с.6), способные образовывать новые «стержни» плотнейшего заполнения пространства. Многогранный объем с.6 является завершающей стадией зеркального подразделения модуля «С». При этом автор не смог установить ни одной новой плотнейшей пространственной структуры, составленной из одинаковых модулей с.3.

4. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «D» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль включает два зеркально симметричных противоположащих трехгранных элемента из одинаковых ромбов; при этом трехгранные элементы объединены шестью боковыми гранями в виде равнобедренных трапеций, смежные из которых расположены зеркально симметрично относительно друг друга.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины и зеркальные трети исходного модуля- d.1 - d.3 (горизонтальный блок 2). Объемы d.1 и d.2 способны образовывать новые «слои» и «стержни» плотнейшего заполнения пространства.

Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения ( $1/4$  и  $1/8$ , а также  $1/6$  и  $1/12$  части в горизонтальных блоках 3, 4) позволили определить ряд новых выпуклых многогранных модулей (d.4 и d.5, а также d.7 и d.8), способных образовывать новые «стержни» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы d.7 и d.8 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «D». При этом автор не смог установить новых плотнейших пространственных структур, составленных из одинаковых модулей d.3 и d.6.

5. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «Е» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль включает два противоположащих трехгранных элемента, каждый из которых включает равные ромбовидные грани; при этом ромбы в противоположащих трехгранных элементах различаются по величине, а противоположащие трехгранные элементы объединены шестью боковыми гранями в виде трех пар зеркально симметричных треугольников.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины и зеркальные трети исходного модуля- е.1 - е.3 (горизонтальный блок 2). Объемы е.1 и е.2 способны образовывать новые «слои» и «капсулы» плотнейшего заполнения пространства.

Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения (1/6 части в горизонтальном блоке 3) позволили определить новые выпуклые многогранные модули (е.4 и е.5), способные образовывать новые «стержни» и «слои» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы е.4 и е.5 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «Е». При этом автор не смог установить ни одной новой плотнейшей пространственной структуры, составленной из одинаковых модулей е.3.

6. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «F» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль- *усеченный октаэдр*- представляет собой параллелоэдр, у которого восемь правильных шестиугольных граней группируются по четыре вокруг шести квадратов с аналогичной длиной сторон.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины исходного модуля- f.1 и f.2 (горизонтальный блок 2), способные образовывать новые «слои» плотнейшего заполнения пространства. Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения (1/4, 1/8 и 1/16 части в горизонтальных блоках 3, 4, 5) позволили определить ряд новых выпуклых многогранных модулей (f.3 - f.12), способных образовывать новые «слои», «стержни» и «бруски» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы f.10 - f.12 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «F».

7. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «Г» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль- *усеченный битетраэдр*- образован шестью равными равнобедренными шестиугольниками, которые сгруппированы по три вокруг двух противоположащих равносторонних треугольников, параллельных друг другу; при этом между двумя зеркально расположенными тройками шестиугольников размещены три пары равнобедренных боковых треугольников.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины и зеркальные трети исходного модуля- g.1 - g.4 (горизонтальный блок 2). Объемы g.1 - g.3 способны образовывать новые «слои», «бруски» и «капсулы» плотнейшего заполнения пространства.

Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения ( $1/4$  и  $1/8$ , а также  $1/6$  и  $1/12$  части в горизонтальных блоках 3, 4) позволили определить ряд новых выпуклых многогранных модулей (g.5 - g.8, а также g.10 - g.12), способных образовывать новые «слои», «стержни» и «бруски» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы g.10 - g.12 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «Г». При этом автор не смог установить новых плотнейших пространственных структур, составленных из одинаковых модулей g.4 и g.9.

8. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «Н» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль включает два зеркально симметричных противоположащих трехгранных элемента из одинаковых ромбов; при этом трехгранные элементы объединены по контурным кромкам шестью боковыми гранями в виде трех пар зеркально симметричных равнобедренных треугольников.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины и зеркальные трети исходного модуля- h.1 - h.4 (горизонтальный блок 2). Объемы h.1 - h.3 способны образовывать новые «слои», «стержни» и «бруски» плотнейшего заполнения пространства.

Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения ( $1/4$  и  $1/8$ , а также  $1/6$  и  $1/12$  части в горизонтальных блоках 3, 4) позволили

определить ряд новых выпуклых многогранных модулей (h.5 - h.8, а также h.10 - h.11), способных образовывать новые «стержни» и «бруски» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы h.10 и h.11 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «Н». При этом автор не смог установить новых плотнейших пространственных структур, составленных из одинаковых модулей h.4 и h.9.

9. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «I» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль представляет собой объем, содержащий зеркально симметричный четырехгранный элемент из одинаковых ромбов; причем боковыми гранями модуля являются попарно равные противолежащие зеркально симметричные прямоугольные пятиугольники и равнобедренные шестиугольники, нижние кромки которых объединены складкой из двух зеркально симметричных прямоугольных граней.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины исходного модуля i.1 и i.2 (горизонтальный блок 2), способные образовывать новые «полосы» плотнейшего заполнения пространства. Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения (1/4 части в горизонтальном блоке 3) позволили определить новые выпуклые многогранные модули (i.3 и i.4), способные образовывать новые непрерывные «полосы/ленты» с клиновидными противолежащими участками, ограниченными острыми параллельными кромками, а также «стержни» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы i.3 и i.4 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «I».

10. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «J» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль представляет собой объем, содержащий зеркально симметричный четырехгранный элемент из одинаковых ромбов; причем боковыми гранями модуля являются попарно равные противолежащие зеркально симметричные четырехугольники и равнобедренные треугольники, нижние кромки которых объединены складкой из двух зеркально симметричных прямоугольных граней.

Первая стадия подразделения: зеркальные половины исходного модуля j.1 и j.2 (горизонтальный блок 2), способные образовывать новые «полосы» плотнейшего заполнения пространства. Дальнейшие стадии их последовательного зеркального подразделения ( $1/4$  части в горизонтальном блоке 3) позволили определить новые выпуклые многогранные модули (j.3 и j.4), способные образовывать новые непрерывные «полосы/ленты» с клиновидными противолежащими участками, ограниченными острыми параллельными кромками, а также «стержни» плотнейшего заполнения пространства. Многогранные объемы j.3 и j.4 являются завершающей стадией зеркального подразделения модуля «J».

11. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «K» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль представляет собой комбинированный объем, где к противолежащим квадратным основаниям центрального прямого параллелепипеда присоединены две одинаковые треугольные призмы, развернутые друг относительно друга на  $90^0$  и образующие два равных ортогональных клиновидных участка.

Первая стадия подразделения: зеркальная половина исходного модуля-объем k.1 (горизонтальный блок 2), способный образовывать новые «полосы» плотнейшего заполнения пространства. Дальнейшая стадия его зеркального подразделения ( $1/4$  часть в горизонтальном блоке 3) определяет новый выпуклый многогранный модуль k.2, способный образовывать новые «полосы» и «стержни» плотнейшего заполнения пространства. Многогранный объем k.2 является завершающей стадией зеркального подразделения модуля «K».

12. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «L» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль представляет собой комбинированный объем из двух одинаковых треугольных призм, состыкованных по квадратной боковой грани, повернутых друг к другу на  $90^0$  и образующих два равных ортогональных клиновидных участка.

Первая стадия подразделения: зеркальная половина исходного модуля-объем l.1 (горизонтальный блок 2), способный образовывать новые «полосы» плотнейшего заполнения пространства. Дальнейшая стадия его зеркального

подразделения (1/4 часть в горизонтальном блоке 3) определяет новый выпуклый многогранный модуль 1.2, способный образовывать новые «полосы» и «стержни» плотнейшего заполнения пространства. Многогранный объем 1.2 является завершающей стадией зеркального подразделения модуля «L».

13. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «M» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль представляет собой объем, содержащий зеркально симметричный четырехгранный элемент из одинаковых ромбов; причем боковыми гранями модуля являются попарно равные противолежащие неправильные четырехугольники и равнобедренные треугольники, нижние кромки которых объединены наклонной прямоугольной гранью.

Первая и одновременно завершающая стадия подразделения исходного модуля «M»: его зеркальная половина- объем m.1 (горизонтальный блок 2), способный образовывать новые «полосы» плотнейшего заполнения пространства.

14. Многогранники последовательного зеркального подразделения базового исходного модуля «N» (рисунок 40, верхний ряд). Данный модуль представляет собой объем, содержащий зеркально симметричный четырехгранный элемент из одинаковых ромбов; причем боковыми гранями модуля являются попарно равные противолежащие неправильные пятиугольники и зеркально симметричные равнобедренные прямоугольные пятиугольники, нижние кромки которых объединены наклонной прямоугольной гранью.

Первая и одновременно завершающая стадия подразделения исходного модуля «N»: его зеркальная половина- объем n.1 (горизонтальный блок 2), способный образовывать новые «полосы» плотнейшего заполнения пространства.

Изображения всех типов полученных новых модулей плотнейших пространственных упаковок приведены в вышеописанной сводной таблице в горизонтальных блоках 2, 3, 4, 5 и выделены тоном. Многогранные части зеркального подразделения базовых исходных модулей, для которых автором не

обнаружены новые плотноупакованные многогранные составные структуры, изображены в таблице в виде линейных рисунков.

В результате проведенных автором поисково-экспериментальных исследований можно сделать следующие общие *выводы*.

1. Установлено, что известные базовые исходные выпуклые многогранные модули плотнейшего заполнения трехмерного пространства (рисунок 40, верхний ряд) с морфологической точки зрения представляют собой модифицированные простейшие прямые призматические объемы с однократными или многократными косыми (иногда- дополнительными ортогональными) усечениями. При этом в основании/поперечном сечении у исходных призматических объемов могут быть правильные многоугольники (треугольник, квадрат, шестиугольник и восьмиугольник), а также прямоугольный пятиугольник и девятиугольник.

2. Выпуклые непризматические многогранные модули, полученные последовательным кратным/зеркальным подразделением/уменьшением известных базовых исходных выпуклых многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства (в т.ч. минимальные, не способные к дальнейшему зеркальному подразделению), представляют собой *самостоятельные объемные элементы плотноупакованных многогранных структур*, если удовлетворяют обязательному условию- способности одинаковых элементов компоноваться в «слои/плиты», «стержни/пилоны», «бруски», «полосы/ленты» и/или «капсулы», которые далее стыкуются друг с другом плотнейшим образом с образованием самостоятельных, т.е. топологически разнородных (комбинаторно неизоморфных) результирующих составных многогранных структур, будучи произвольно развернутыми или смещенными относительно друг друга.

3. Все типы полученных новых многогранных модулей плотнейшего заполнения пространства способны предварительно компоноваться в такие объемные элементы, как «слои/плиты», «стержни/пилоны», «бруски», «полосы/ленты» и/или «капсулы»; причем, некоторые из модулей способны компоноваться одновременно в различные объемные элементы плотнейшего заполнения пространства.

4. Для отдельных многогранных частей зеркального подразделения базовых исходных модулей, имеющих как симметричную так и асимметричную форму, автор не смог обнаружить новые плотноупакованные многогранные составные структуры на их основе. Поэтому вопрос о том, могут ли данные многогранные отсеки в процессе стыковки друг с другом плотнейшим образом заполнять трехмерное пространство, остается открытым. [Возможно, дальнейшие экспериментальные исследования позволят установить новые плотнейшие пространственные составные структуры на основе этих объемных элементов].

5. Полученные автором новые многогранные модули плотнейшего заполнения пространства могут иметь форму однократно или многократно усеченных призм, а также пирамид, бипирамид и сложноусеченных объемов.

6. В основании/поперечном сечении у полученных выпуклых непризматических многогранников могут быть многоугольники различного очертания: -треугольники (в т.ч. равносторонние, равнобедренные, прямоугольные), -четыреугольники (в т.ч. квадраты и прямоугольники, параллелограммы, ромбы), -прямоугольный пятиугольник, -шестиугольники (в т.ч. правильные), -правильный восьмиугольник, -девятиугольник.

На основе новаторских и трудоемких поисково-экспериментальных исследований автором определены ранее неизвестные типы самостоятельных выпуклых непризматических многогранных модулей плотнейшего заполнения пространства, представляющих собой зеркальные/кратные подразделения известных базовых исходных многогранников плотноупакованных структур. Это позволило не только кардинально разнообразить номенклатуру базовых модулей, но также существенно расширить спектр перспективных формотворческих возможностей геометрического моделирования/конструирования ранее неизвестных фундаментальной науке результирующих многогранных конгломератов, способных эффективно использоваться в дизайне и архитектуре. Данные новаторские результаты также важны для развития различных фундаментальных наук и направлений (химия, физика, кристаллография, микробиология, биохимия и др.) и, несомненно, в самом ближайшем будущем получат новый мощный импульс научно-экспериментального развития» [340].

### **2.3. Моделирование невыпуклых многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства-плоскогранных и с линейчатыми элементами**

Направления эффективного практического использования плотнейших упаковок пространства в архитектуре и дизайне очень разнообразны: от модульных структур орбитальных космических комплексов до жилых крупно-блочных компактных поселений в труднодоступных районах, от многоэтажного жилья со специфической объемно-планировочной структурой до кристаллографических фасадов современных имиджевых небоскребов, от малых форм средового дизайна до развивающих сборных конструкторов и учебных пособий в школах и университетах на занятиях по геометрии и композиционному конструированию.

На сегодняшний день известны лишь отдельные научные труды, обозначающие давно известные типы выпуклых кристаллических ячеек плотнейшего/сплошного заполнения трехмерного пространства: поиск однотипных модулей является исключительно сложной научной, экспериментальной и изобретательской задачей, и каждый шаг вперед здесь квалифицируется как крупное научное достижение мирового уровня.

Вместе с тем многолетние авторские исследования показывают: возможности структурирования пространства однотипными модулями заполнения оказываются гораздо шире вследствие открывающихся перспективных возможностей эффективного использования *невыпуклых многогранных типозлементов*. Настоящая часть диссертации посвящена раскрытию новых конкретных методик/технологий структурирования трехмерного пространства объемными модулями с невыпуклой многогранной структурой. Данные технологии, модули и результирующие структуры разработаны автором.

**Общая методика.** Плотнейшее/сплошное заполнение трехмерного пространства осуществляется модулями, полученными путем модифицирования исходных выпуклых многогранников сферического типа как наиболее эффективных для этой цели (такие многогранники заключают наибольший внутренний полезный объем при минимальной площади поверхности и при этом име-

ют регулярную/симметричную структуру, образованную правильными, равно-сторонними или одинаковыми многоугольными гранями).

В качестве исходных выпуклых многогранников выбраны известные усеченный октаэдр, ромбокубооктаэдр (рисунок 41.5), ромбоусеченный кубо-октаэдр (рисунок 41.3), а также предложены их выпуклые модификации, разработанные автором (рисунки 41.1-2; рисунки 41.4-13). Они и являются наиболее подходящими для целей плотнейшего заполнения трехмерного пространства. Дискретное плотнейшее/сплошное заполнение пространства осуществляется путем стыковки однотипных модулей таким образом, что их центры распола-гаются в узлах *регулярных сетей с четырехугольными или треугольными ячейками*, задающих общую компоновочную схему стыковки, а также направ-ления развития формы в пространстве.

[В этой связи следует отметить- многогранники типа додекаэдра, икоса-эдра, а также ромбоикосододекаэдра, имеющие симметрию пятого порядка, не могут быть выбраны в качестве исходных, поскольку бесконечной непрерыв-ной регулярной сети развития формы из примыкающих друг к другу одинако-вых правильных пятиугольных ячеек принципиально не существует].

**Многогранные модули заполнения.** Образование новых типов много-гранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства осуще-ствляется путем присоединения к граням выбранных исходных выпуклых мно-гогранников *призматических или пирамидальных приставных деталей* (на-пример, рисунок 41, тип 4,а-б). Разумеется, наиболее рациональными формами модулей могут считаться те, которые имеют самое компактное очертание с минимальными по размерам приставными деталями (например, рисунок 41, тип 1,а; рисунок 41, тип 2,а). Основные разновидности невыпуклых составных многогранных модулей, разработанные автором и приведенные в диссертации, могут быть дополнены также иной комбинаторикой примыкания приставных деталей или их подразделения на равные части в различных вариантах, в т.ч. разреза по диагонали.

**Образование бесконечной структуры сплошного заполнения про-странства.** Одинаковые многогранные модули заполняют трехмерное про-

странство *кристаллическими слоями* (рисунок 43, тип 1,а), вплотную уложенными друг на друга. Примыкающие друг к другу смежные кристаллические слои смещены относительно друг друга таким образом, что многогранные модули смежных слоев расположены в шахматном порядке относительно друг друга (центры модулей одного кристаллического слоя проецируются между соседними модулями смежного кристаллического слоя). Модули в каждом кристаллическом слое состыкованы по четырехугольной (рисунок 43, типы 1-4; рисунок 44, типы 6-8; рисунок 45, типы 10-12; рисунок 46, типы 14-18) или триангуляционной (рисунок 43, тип 5; рисунок 44, тип 9; рисунок 45, тип 13; рисунок 46, тип 19) схемам с образованием решетчатой или сплошной бесконечной многогранной плоскостной структуры, имеющей регулярное построение.

Таким образом, каждая группа однородных многогранных модулей, представленных в работе (рисунок 41, типы 1-4; рисунок 42, типы 5-19), образует один из девятнадцати принципиальных типов объемной кристаллической структуры плотнейшего/сплошного заполнения пространства (рисунки 43- 46). При этом несущественные различия родственных вариантов объемных структур какого-либо типа при использовании каждой разновидности многогранных модулей соответствующей группы заключаются лишь в индивидуальной пространственной компоновке приставных призматических или пирамидальных деталей.

Эксперименты позволили установить важный факт- *многогранные модули сохраняют способность плотнейшим образом заполнять пространство при их синхронной деформации (сжатии-растяжении) вдоль оси или нескольких осей*. Данная способность к деформации присуща также и всей мультитячеистой структуре в целом (например, синхронная деформация структуры из модулей формы усеченного октаэдра не отражается на ее комбинаторных качествах: рисунок 42,А). Таким образом можно сделать вывод- *изменение пропорций модуля заполнения никак не влияет на его способность образовывать плотноупакованные трехмерные структуры*. [В связи с этим необходимо отметить, что в большинстве архитектурно-дизайнерских композиций и струк-

турных построений пропорции формы являются наименее значительной ее характеристикой, занимающей последнее место в общем ряду ее композиционных и комбинаторных качеств. Также очевидно, что наиболее значимыми качествами любой формы являются ее *конфигуративные, топологические и ритмические* свойства, определяющие очертание контура и поверхностей составляющих форму элементов, а также их взаимосвязь и общую структурную регулярность взаимного расположения]» [330].

До настоящего времени в научной литературе практически не освещались вопросы геометрического конструирования невыпуклых многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства, содержащих на своем объеме фрагменты *классических линейчатых поверхностей двоякой отрицательной кривизны- гиперболического параболоида, коноида, цилиндроида, однополостного гиперболоида, геликоида*: автор не смог обнаружить ни одного специального источника по этой проблеме.

Между тем такие модули обладают рядом технических преимуществ перед плоскогранными аналогами, и прежде всего- повышенной поверхностной жесткостью, что делает данные объекты чрезвычайно перспективными для практических целей современного дизайна, а также обуславливает безусловную актуальность проводимого автором научного исследования и его практических результатов. Таким образом, в данном разделе диссертации автором сформулированы научные основы геометрического конструирования невыпуклых многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства, объемы которых содержат отсеки линейчатых поверхностей двоякой отрицательной кривизны, а также разработать комплекс технических решений таких модулей для целей современного практического дизайна.

Анализ проблемы с морфологических позиций позволил систематизировать основные условия/ограничения, вариативные возможности, а также приемы/схемы/способы геометрического моделирования таких специфических регулярных дискретных структур.

*Общий алгоритм, предложенный автором, заключается в видоизменении сторон (продольных или торцевых граней) простейших призматических*

объемов путем введения в их поверхностную структуру линейчатых отсеков или составных линейчатых групп.

**1. Наличие выпукло-вогнутой части из одинаковых линейчатых перевернутых половинок на одной или двух противолежащих сторонах призматического объема модуля либо подобное многоэлементное рядное оформление его продольных сторон.**

Например, поверхность *цилиндроида* характерна тем, что может быть *выпукло-вогнутой* в случае противоположной пространственной ориентации одинаковых дугообразных направляющих; при этом выпуклая и вогнутая части такой поверхности могут являться одинаковыми/равнозначными половинами, перевернутыми одна относительно другой. Именно такие отсеки цилиндроида, содержащие две одинаковые части выпукло-вогнутой поверхности, могут полностью совмещаться друг с другом, когда выпуклая часть одного объема вкладывается в вогнутую часть другого. [В данном случае выпукло-вогнутый цилиндرويد представляет собой два коноида противоположной пространственной ориентации, перевернутых относительно друг друга и состыкованных по продольной оси].

На рисунке 47,л показан прямой призматический объем, ограниченный с торцов выпукло-вогнутыми зеркально симметричными отсеками цилиндроида с равнозначными половинами. Такие одинаковые объемы, смежные из которых переворачиваются относительно друг друга и плотнейшим образом стыкуются по торцам, образуют бесконечный составной прямой параллелепипед, который, в свою очередь, легко заполняет все трехмерное пространство.

Выпукло-вогнутый торец из двух перевернутых половинок, составленный зеркально симметричными четырехугольными отсеками гипара (рисунок 47,г), также позволяет производить плотнейшую стыковку такого модуля с самим собой. При этом такое оформление торца призмы может быть произведено как с одного так и с двух ее торцов; при этом в случае ее квадратного поперечного сечения допускается разворот поверхности противолежащего торца на  $90^{\circ}$  и  $180^{\circ}$ . В данном случае также возможен вариант размещения вышеописанной линейчатой двухкомпонентной поверхности на одной или двух проти-

волежащих продольных сторонах призматического объема в виде последовательного многоэлементного ряда/двух рядов.

Выпукло-вогнутые многокомпонентные поверхности модулей плотнейшей пространственной компоновки могут быть представлены группой из восьми одинаковых отсеков гипаров, имеющей квадратную горизонтальную проекцию (на рисунке 47,а показан ряд из двух восьмиэлементных групп). В случае такого оформления противоположащих торцов квадратного в сечении призматического модуля один из торцов может быть развернут по отношению к другому на  $90^{\circ}$ .

***2. Перенос отсека линейчатой поверхности или группы линейчатых поверхностей с одной стороны призматического модуля на противоположащую с изменением ее знака (выпуклая линейчатая часть меняется на вогнутую и наоборот).*** [По данной схеме образуется большинство из модулей плотнейшей пространственной компоновки, содержащих участки линейчатых поверхностей].

Так, например, противоположащие участки прямой призмы оформлены в виде одинаковых коноидальных поверхностей с различным знаком (рисунок 47,б). Четырехкомпонентная линейчатая группа из гипаров перенесена на другую сторону квадратной в сечении призмы и имеет противоположный знак (рисунок 47,в). Точно так же равносторонний отсек гипара с двумя плоскостями зеркально симметрии может формировать одну сторону квадратного в сечении призматического модуля (рисунок 47,и) либо также располагаться и на противоположащей (рисунок 47,к).

Зеркально симметричный четырехугольный отсек гипара на одном из торцов правильной треугольной призмы может быть перенесен с изменением знака на другой ее торец параллельным переносом (рисунок 47,ж) либо с разворотом. Все квадратные грани куба оформлены в виде четырехкомпонентных линейчатых групп из одинаковых отсеков гипара, где середины сторон каждой его грани соединены ребрами с вершиной вне плоскости грани (рисунок 47,д). При этом линейчатые группы на каждой из пар противоположащих граней имеют противоположные знаки.

Точно такой же принцип лежит в основе формирования трехэлементных линейчатых торцов призматического модуля с правильным шестиугольным поперечным сечением (рисунок 47,з), имеющих противоположные знаки.

[Во всех рассмотренных случаях при наличии у призматического модуля поперечного сечения в виде правильного многоугольника (треугольника, квадрата, шестиугольника) допускается осевой разворот линейчатой поверхности или линейчатой группы на его противоположащем его торце. Например, линейчатая группа из двух гипаров, оформляющая какой-либо торец квадратного в сечении призматического модуля, может быть развернута на другом его торце на  $180^0$  (рисунок 47,м)].

Одинаковые шестиугольные участки однополостного гиперболоида, очерченные попарно равными противоположащими л-образными ребрами и дугами (рисунок 47,о), имеют разные знаки и оформляют противоположные стороны призматического модуля. Такой же принцип лежит в основе формирования модуля из двух одинаковых четырехугольных отсеков гипара, очерченных разновеликими попарно равными противоположащими параболами (рисунок 47,р), имеющих разные знаки и расположенных на двух его противоположащих сторонах.

***3. Перенос группы линейчатых поверхностей с одной стороны призматического модуля на смежную равную по габаритам сторону с изменением знака группы (выпуклая линейчатая часть меняется на вогнутую и наоборот).***

Здесь примером может служить квадратный в сечении призматический модуль, смежные стороны которого оформлены линейчатой группой из двух коноидов, состыкованных по центральному дугообразному ребру (рисунок 47,н); причем на смежных сторонах модуля линейчатые группы имеют противоположные знаки.

***4. Оформление одной или двух противоположащих сторон квадратного в сечении призматического модуля поверхностью переноса с одинаковыми симметричными контурными дугами, причем чередующиеся смежные дуги ориентированы в противоположные стороны.***

Сюда могут быть отнесены любые поверхности переноса (в т.ч. гипара) с двумя плоскостями зеркальной симметрии, очерченные четырьмя плоскими равными дугами (например, части окружности или параболы), которые формируют торец и располагаются по сторонам квадратного в сечении призматического объема (рисунок 47,п).

**5. Оформление противоположных торцов призматического модуля с равносторонним выпуклым поперечным сечением (квадратным и шестиугольным) двумя различными по конфигурации и одинаковыми по знаку группами линейчатых поверхностей** (рисунок 47,е).

Здесь первым обязательным условием является внутренняя зеркальная симметрия обеих торцевых линейчатых групп. Второе обязательное условие- обе линейчатые группы должны быть составлены из равного количества одинаковых отсеков. Третье условие- отсеки одной группы выполняются перевернутыми относительно отсеков другой группы. Четвертое условие- отсеки в группах должны быть составлены так, что при стыковке модулей по боковым граням в один сплошной слой в полости ячеистой/складчатой поверхности, образованной с одной торцевой стороны этого слоя, плотно вкладывались соответствующие участки ячеистой поверхности противоположащей торцевой стороны такого же смежного слоя модулей с полным совмещением контактных линейчатых поверхностей обоих слоев. В данном случае модули смежных слоев располагаются в шахматном порядке относительно друг друга.

В работе приведены два варианта таких модулей с шестиугольным и квадратным поперечным сечением (рисунки 130,а,в), а также результирующие многомодульные структуры на их основе (рисунки 130,б,г соответственно).

В качестве **итога** можно констатировать следующее. Каждый из известных науке плоскогранных модулей плотнейшего заполнения пространства может быть *последовательно подразделен по плоскостям зеркальной симметрии на равные и уменьшающиеся части*. Пределом этого подразделения в каждом конкретном случае будет определенный асимметричный многогранный элемент, не способный к дальнейшему делению на одинаковые объемные фигуры- это и есть тот минимальный пространственный «кирпичик», из которого

и создается все многообразие кристаллических структур Вселенной, включая живую/органическую материю, а также рукотворные произведения архитектуры и дизайна. Занимаясь фундаментальными проблемами новейших технологий морфогенеза совместно с выдающимися российскими и зарубежными учеными- химиками, физиками, биологами, кристаллографами,- автор пришел к выводу: *принципиальные схемы и механизмы трехмерного структурообразования объектов живой природы и искусственной среды, создаваемой человеком, в целом аналогичны.*

Однако существует и глубокое различие. Если человек стремится к воспроизведению абсолютно идентичных модулей в создаваемых им структурах, руководствуясь принципами экономической целесообразности и технологической рациональности, то Природа действует гораздо изобретательнее: она никогда не оперирует идентичными модулями в процессе структурирования пространства, а предпочитает использовать *подобные однородные элементы с вариабельной геометрией.* При всем желании невозможно встретить в пчелином улье двух абсолютно идентичных по геометрии ячеек-сот, хотя все они достаточно сильно похожи друг на друга. То же самое можно сказать, например, о лучах морской звезды, крыльях бабочки и стрекозы, створках раковины и друзе кристаллов, сетчатой структуре скелета морского ежа и радиолярии.

*Естественная среда, явно обозначая нам закономерности абсолютной, идеальной симметрии и модульной идентичности, тем самым подталкивая человека к их научному постижению, при этом сама никогда не пользуется ими в своих построениях.* В природе не обнаружить идеальных по форме правильных многогранников Платона или полуправильных многогранников Архимеда: абсолютно симметричные правильные многогранные структуры- это абстрактное творение человеческого разума или рук ювелира. В полной мере данное различие характерно также для фрактальных и торсионных структур, созданных Природой и человеком.

*Своеобразие, индивидуальность каждой детали в визуально регулярной целостной структуре-* именно это характерно для всех биоформ, именно это исключает угнетающую монотонность многократно повторяющихся однотип-

ных модулей и формирует мощнейший художественно выразительный потенциал Природы- творца, с которым человек никогда не сравнится в разнообразии и богатстве формотворчества. Ведь Природа может себе позволить роскошь быть оригинальной в каждой детали, а человек- нет. Поэтому взаимодействие технологий природного и искусственного морфогенеза- это, возможно, тот идеальный путь, по которому человечество будет далее развиваться в полной гармонии с Природой, неотъемлемой частью которой оно само является.

#### **2.4. Моделирование регулярных дискретных структур нового класса- линейчатых квазимногогранников**

«Геометрическое моделирование многогранных оболочек во все эпохи являлось одним из наиболее перспективных, сложных и интересных направлений архитектурного формообразования. При этом особый приоритет в исследованиях и формотворческих экспериментах неизменно отдавался классическим плоскогранным многогранникам- им посвящены сотни научных работ и изобретений.

Однако в середине XX века произошло смещение интереса исследователей и изобретателей на многогранные оболочки, составленные из отсеков *линейчатых поверхностей- гиперболического параболоида (гинпара), коноида и геликоида*- как наиболее технологичных в изготовлении и обладающих повышенной несущей способностью.

Формообразование составных линейчатых оболочек, образованных элементами формы однолепесткового гиперболического параболоида с пространственным четырехугольным контуром, очерченным прямыми кромками, развивается учеными и изобретателями с 60-х годов XX века. Как правило, это поисковые изобретательские работы по конструированию плоскостных, сводчатых и куполообразных оболочек (в т.ч. замкнутых) из гиперболических элементов ограниченной номенклатуры типоразмеров [73], [103], [157] и др.

В фундаментальной работе [44, С.500] приведено определение так называемых «*квазимногогранников*»- фигур, ограниченных неплоскими равными кусками криволинейных поверхностей. Дано описание их основных разновидностей (гиперболический октаэдр как разновидность астроидального эллип-

соида, гиперболический тетраэдр, гиперболический куб, гиперболический икосаэдр и гиперболический додекаэдр), состоящих из равных отсеков нелинейчатых поверхностей [там же, С.503-504].

Вместе с тем необходимо отметить, что научно-методические труды по геометрическому конструированию *равноэлементных* составных оболочек, включающих отсеки *линейчатых поверхностей* (*гипаров, коноидов, геликоидов*) и имеющих замкнутый объем, а также центрическую структуру, полностью отсутствуют.

Чрезвычайно близко к созданию таких объемных форм подошел в XX веке голландский художник-график М.К.Эшер (Mauritz Cornelis Escher), предложивший около десятка структурных/решетчатых каркасов плоскогогранных многогранников (в гравюрах и макетах), содержащих четырехугольные пространственные сквозные ячейки [89, С.94, рис.208-211]. Однако самый последний и важный шаг на пути к конструированию линейчатых квазимногогранников- заполнение данных четырехугольных ячеек отсеками (одинаковыми, зеркально равными или даже различными) линейчатых поверхностей с соответствующим контуром- так и не был им сделан.

Цель настоящего раздела работы- определить и описать новый ранее неизвестный тип замкнутых составных дискретных оболочек с *центрической структурой*, образованных состыкованными по кромкам отсеками линейчатых поверхностей (в т.ч. одинаковыми/зеркально равными), а также предложить принципиальные алгоритмы/новые способы их геометрического конструирования.

Данный тип новых составных линейчатых структур предложено называть *линейчатыми квазимногогранниками* (данное название исследуемого в работе нового типа регулярных дискретных структур также вводится в научный оборот впервые). Ниже приведены принципиальные способы получения данных структур, сформулированные автором в течение многолетних поисково-экспериментальных исследований (новые структуры получены автором на основе данных алгоритмов в ходе компьютерного моделирования и экспериментального объемного макетирования).

*Первый способ* образования линейчатых квазимногогранников основан на преобразовании исходных правильных/Платоновых, а также комплекса классических звездчатых многогранников.

Сущность способа заключается в поиске на поверхности исходного многогранника равных неплоских ромбовидных участков (реальных или виртуальных), состыкованных по кромкам на поверхности многогранника без зазоров и наложений, при последующем устранении у каждого из них внутреннего ребра (группы ребер) и вписывании четырехугольных отсеков гиперболического параболоида (гипара) в образовавшиеся четырехугольные неплоские ячейки с прямыми кромками.

Для демонстрации способа выбраны два исходных правильных многогранника- икосаэдр (рисунок 54,а) и октаэдр (рисунок 54,в), а также исходные звездчатые многогранники: звездчатый октаэдр Кеплера (рисунок 54,ж), малый звездчатый додекаэдр (рисунок 54,з) и большой звездчатый додекаэдр (рисунок 54,и).

В результате исследования на поверхности икосаэдра и октаэдра выявлено соответственно десять и четыре равных ромбовидных неплоских участков, которые образуют полную оболочку исходных многогранников. Далее внутренние ребра всех выявленных ромбовидных участков устраняются, и сетчатый каркас оставшихся прямых ребер, очерчивающих равные неплоские ромбовидные ячейки, заполняется четырехугольными отсеками гиперболического параболоида, имеющими соответствующий контур с получением результирующих *квазшикосаэдра* (рисунок 54,б) и *квазиоктаэдра* (рисунок 54,г). [Данные квазимногогранники в одном из вариантов складчатой аппроксимации представлены на рисунке 54,д и рисунке 54,е соответственно].

Те же самые действия можно выполнить и с вышеуказанными исходными звездчатыми многогранниками, в результате чего получить соответствующие результирующие линейчатые квазимногогранники (рисунки 54,к-м). Два из них (рисунки 54,л,м) с гипарами в сплошном и сетчатом/решетчатом вариантах показаны на компьютерных моделях (рисунки 55,а-в).

Установлено, что помимо упомянутых выше звездчатого октаэдра [15, С.47], малого звездчатого додекаэдра [там же, С.48] и большого звездчатого додекаэдра [там же, С.50] первый способ позволяет использовать в качестве исходных многогранников большой додекаэдр [там же, С.49]; соединение пяти октаэдров [там же, С.53]; первую, третью, пятую, седьмую и восьмую звездчатые формы икосаэдра [там же, С.56, 58, 61, 64, 65]; большой икосаэдр [там же, с.75]; завершающую звездчатую форму икосаэдра [там же, С.77]; соединение куба и октаэдра [там же, С.82]; вторую звездчатую форму кубооктаэдра [там же, С.83]; первую и седьмую звездчатые формы икосододекаэдра [там же, С.90, 96].

Весьма допустимо существование и других классических многогранников, пригодных к преобразованию в квазимногогранники первым способом. Кроме того, вполне возможно существование на каком-либо одном исходном звездчатом многограннике нескольких вариантов одинаковых ромбовидных участков поверхности. Вместе с тем отнюдь не исключается получение одного и того же результирующего квазимногогранника путем преобразования различных базовых плоскогранных классических многогранников. [Проверка этих научных гипотез в настоящее время находится в стадии поисково-экспериментальных исследований с использованием компьютерных моделей и макетов].

Разновидность первого способа основана на преобразовании исходных *бипирамид* с правильным многоугольным основанием, расположенным в их срединной плоскости.

Она заключается в устранении ребер правильного многоугольного основания решетчатого каркаса исходной бипирамиды и последующем заполнении полученных равных неплоских четырехугольных ячеек с прямолинейными кромками соответствующими отсеками гипара.

Результирующие квазимногогранники могут иметь характерное звездчатое/многолучевое очертание (количество лучей определяется числом сторон правильного многоугольного основания исходной бипирамиды) либо выполняться вытянутыми вдоль ее оси.

**Второй способ** образования линейчатых квазимногогранников основан на преобразовании пяти исходных правильных/Платоновых многогранников и четырнадцати полуправильных/Архимедовых многогранников.

Для демонстрации способа выбран исходный правильный многогранник-додекаэдр (рисунок 55,ж). Центр «а» каждой правильной пятиугольной грани додекаэдра отдалается по нормали к этой грани на некоторое расстояние от нее с получением новой вершины «к» (при этом вершины «к» удалены от соответствующих пятиугольных граней на равное расстояние). Далее полученные вершины «к» соединяются с серединами «р» всех контурных сторон соответствующих пятиугольных граней (рисунки 55,г-е); в результате на всей исходной поверхности додекаэдра получается 60 одинаковых неплоских четырехугольных ячеек, которые заполняются одинаковыми/зеркально равными отсеками гиперболического параболоида (рисунки 55,ж-к).

Таким образом, на каждой грани исходного додекаэдра получается линейчатый пирамидообразный модуль из пяти одинаковых отсеков гипара; при этом равное отдаление вершин «к» этих линейчатых модулей от всех соответствующих граней исходного додекаэдра является обязательным условием для обеспечения зеркального равенства составляющих результирующую линейчатую оболочку 60 четырехугольных отсеков гиперболического параболоида.

Все обозначенные выше операции данного способа могут быть выполнены в трех вариантах. В первом варианте вершины «к» отдалены по нормалям от пятиугольных граней таким образом, что ломаная линия «к-р-к» у двух любых смежных граней образует выпуклый угол (рисунки 55,г,з). В втором варианте вершины «к» отдалены по нормалям от пятиугольных граней таким образом, что линия «к-р-к» у двух любых смежных граней является прямой (рисунки 55,д,к). В третьем варианте вершины «к» отдалены по нормалям от пятиугольных граней таким образом, что ломаная линия «к-р-к» у двух любых смежных граней образует вогнутый угол (рисунки 55,е,и).

По данному способу в трех вариантах могут быть преобразованы в линейчатые квазимногогранники также все остальные Платоновы многогранни-

ки: тетраэдр (рисунки 56,а-г), октаэдр (рисунки 56,е-з), гексаэдр/куб (рисунки 56,а-в,д) и икосаэдр (рисунки 56,е-и).

Разновидность описанного выше второго способа заключается в том, что нормальное проецирование центров «а» правильных многоугольных граней исходных многогранников может осуществляться не наружу от их поверхности, а *во внутрь* (с заглублием вершин «к» и получением вогнутых линейчатых пирамидообразных модулей). При этом равное заглублие вершин «к» данных вогнутых линейчатых модулей от соответствующих граней исходного многогранника также является обязательным условием для обеспечения зеркального равенства составляющих результирующую линейчатую оболочку четырехугольных отсеков гиперболического параболоида. Приведены изображения линейчатых квазимногогранников на основе преобразования исходных правильных многогранников- тетраэдра (рисунок 56,д), октаэдра (рисунок 56,к), додекаэдра (рисунок 57,г) и икосаэдра (рисунок 57,к)- путем нормального равного заглублиения центров «а» каждой из граней относительно поверхности исходного многогранника.

Второй способ во всех вышеописанных вариантах также приемлем для получения разнообразных линейчатых квазимногогранников на основе исходных полуправильных/Архимедовых многогранников; однако в этом случае типоразмеры составляющих гиперболических четырехугольных отсеков результирующих составных линейчатых оболочек будут различны по определению (минимум два типоразмера).

Значительно расширит диапазон результирующих форм линейчатых квазимногогранников по данному способу разнообразная ориентация линейчатых пирамидообразных модулей: некоторые из них могут выполняться выпуклыми, т.е. обращенными вершинами «к» наружу относительно поверхности исходного многогранника, а некоторые- вогнутыми. Использование же данного способа при отмене условия обязательного равенства отдаления или заглублиения центров «к» правильных граней исходных многогранников относительно поверхности последних позволяет получать практически бесконечный ряд ре-

зультирующих составных линейчатых оболочек как симметричной так и асимметричной формы.

**Третий способ** образования линейчатых квазимногогранников основан на преобразовании пяти исходных правильных/Платоновых многогранников.

Для демонстрации способа выбран исходный правильный многогранник-гексаэдр/куб (рисунок 58,а). Все правильные грани исходного многогранника дополнительно подразделяются прямыми на одинаковые треугольники путем соединения всех вершин каждой грани с ее центром «а» (первая фаза- рисунок 58,б); дальнейшее подразделение граней на большее число равных треугольников производится путем соединения середин контурных сторон каждой грани с ее центром «а» (вторая фаза- рисунок 58,в). Далее, на стадии как первой так и второй фаз возможно получение соответствующего линейчатого квазимногогранника путем устранения всех ребер исходного многогранника, в результате чего получается результирующий сетчатый каркас из неплоских равных четырехугольных ячеек, которые в последующем заполняются одинаковыми/зеркально равными отсеками гиперболического параболоида с соответствующим контуром (рисунки 58,г-д).

Вариант третьего способа состоит в том, что центры «а» граней исходного многогранника предварительно заглубляются или выдвигаются относительно его поверхности по нормальям к граням (рисунки 58,е-ж). Все дальнейшие операции по дополнительному подразделению граней в двух последовательных фазах (рисунки 58,ж-з) и получению новых результирующих форм линейчатых квазимногогранников (рисунки 58,и-к) полностью аналогичны вышеописанным.

**Четвертый способ** образования линейчатых квазимногогранников основан на преобразовании пяти исходных правильных/Платоновых многогранников и четырнадцати полуправильных/Архимедовых многогранников.

Исходный многогранник представляется в виде сетчатого каркаса ребер, из вершин которого проводятся ребра равной величины, ориентированные в центр многогранника (данные ребра могут быть вынесены наружу или заглублены внутрь относительно поверхности исходного многогранника). Далее кон-

цы всех ребер, исходящих из угловых вершин каждой плоской ячейки, очерчивающей грань исходного многогранника, соединяются с ее центром (при этом центры ячеек также могут перемещаться по нормали к соответствующим граням наружу либо заглубляться внутрь относительно поверхности исходного многогранника). Завершающей операцией получения сетчатого каркаса результирующей составной оболочки служит соединение середин всех контурных ребер, очерчивающих каждую плоскую ячейку, с ее центром пучком прямых линий. Полученный сетчатый каркас из равных неплоских четырехугольных ячеек заполняется зеркально равными отсеками гиперболического параболоида с соответствующим контуром.

Вышеописанный процесс формообразования может осуществляться для преобразования полуправильного исходного многогранника. В этом случае вся поверхность результирующего линейчатого квазимногогранника образуется двумя типоразмерами отсеков гипара.

Соединение середин всех контурных ребер, очерчивающих каждую плоскую ячейку, с ее центром может осуществляться не пучком прямых ребер, а пучком одинаковых плоских выпуклых или вогнутых дуг. В этом случае все четырехугольные пространственные ячейки полученного каркаса заполняются зеркально равными отсеками коноида. Также возможно заполнение результирующих ячеек зеркально равными отсеками геликоида.

**Пятый способ** образования линейчатых квазимногогранников также основан на преобразовании пяти исходных правильных/Платоновых многогранников и четырнадцати полуправильных/Архимедовых многогранников.

Исходный многогранник представляется в виде сетчатого каркаса ребер, из середин сторон плоских ячеек которого проводятся ребра равной величины, ориентированные в центр многогранника (данные ребра могут быть вынесены наружу или заглублены внутрь относительно поверхности исходного многогранника). Далее концы всех ребер, исходящих из середин контурных сторон каждой плоской ячейки, очерчивающих грань исходного многогранника, соединяются с ее центром (при этом центры ячеек также могут перемещаться по нормали к соответствующим граням наружу либо заглубляться внутрь относи-

тельно поверхности исходного многогранника). Завершающей операцией получения сетчатого каркаса результирующей составной оболочки служит соединение всех угловых вершин каждой плоской ячейки с центром пучком прямых линий. Полученный сетчатый каркас из равных неплоских четырехугольных ячеек заполняется зеркально равными отсеками гиперболического параболоида с соответствующим контуром. В случае преобразования данным способом какого-либо полуправильного исходного многогранника вся поверхность результирующего линейчатого квазимногогранника моделируется двумя типоразмерами отсеков гипара.

Соединение всех угловых вершин каждой плоской ячейки с ее центром может осуществляться не пучком прямых ребер, а пучком одинаковых плоских выпуклых или вогнутых дуг. В этом случае все четырехугольные пространственные ячейки полученного каркаса заполняются зеркально равными отсеками коноида. Также возможно заполнение результирующих ячеек зеркально равными отсеками геликоида.

**Шестой способ** образования линейчатых квазимногогранников также основан на преобразовании пяти исходных правильных/Платоновых многогранников и четырнадцати полуправильных/Архимедовых многогранников.

Исходный многогранник представляется в виде сетчатого каркаса ребер, середины сторон плоских ячеек которого отдаляются (или заглубляются) на одинаковое расстояние относительно поверхности исходного многогранника по нормалям, ориентированным в центр многогранника. Полученные вершины соединяются с близлежащими угловыми вершинами ячейки, а также с ее центром (при этом центры ячеек также могут перемещаться по нормали к соответствующим граням наружу либо заглубляться внутрь относительно поверхности исходного многогранника). Далее устраняются все ребра сетчатого каркаса исходного многогранника. Результирующий сетчатый каркас из равных неплоских четырехугольных ячеек заполняется однотипными отсеками гиперболического параболоида с соответствующим контуром. В случае преобразования данным способом какого-либо полуправильного исходного многогран-

ника вся поверхность результирующего линейчатого квазимногогранника моделируется двумя типоразмерами отсеков гипара.

**Седьмой способ** образования линейчатых квазимногогранников также основан на преобразовании пяти исходных правильных/Платоновых многогранников и четырнадцати полуправильных/Архимедовых многогранников. Способ заключается в образовании усеченных линейчатых пирамидообразных модулей на гранях исходного многогранника.

*Методика построения линейчатых пирамидообразных модулей.* По нормали к плоскости большего правильного многоугольного основания отдалено меньшее многоугольное основание, которое может быть подобным большему либо содержать вдвое большее/меньшее количество сторон, а также выполняться звездчатым. Далее вершины одного основания соединяются ребрами с серединами сторон другого и наоборот (возможны варианты, когда некоторые вершины оснований также попарно соединяются ребрами). Результирующие сетчатые каркасы усеченных линейчатых пирамидообразных модулей имеют зеркальную или поворотную симметрию и заполняются одинаковыми/зеркально равными отсеками гиперболического параболоида с соответствующим контуром. Далее полученные линейчатые пирамидообразные модули совмещаются большими основаниями с контуром плоских ячеек каркаса исходного многогранника и могут быть ориентированы малыми основаниями как наружу так и во внутрь относительно поверхности исходных многогранников (возможны результирующие варианты, когда часть пирамид ориентирована наружу, а часть- во внутрь).

**Восьмой способ** образования линейчатых квазимногогранников заключается в следующем. Крайние вершины боковых участков П-образной рамы устанавливаются на ось, вокруг которой эту раму поворачивают, фиксируя ее промежуточные положения определенным углом поворота (рисунок 59,а). Далее верхние вершины перекладин рам соединяются диагональными ребрами с нижними вершинами перекладин смежных рам попарно (рисунок 59,б); при этом все диагональные ребра структуры ориентированы относительно оси по принципу поворотной симметрии. В случае равных углов между смежными

рамами, а также равенства и зеркально симметричного расположения боковых участков всех рам относительно оси поворота получается результирующий сетчатый каркас из одинаковых неплоских четырехугольных ячеек, в которые вписываются равные отсеки гиперболического параболоида с соответствующим контуром. При этом боковые участки П-образной рамы могут выполняться равнонаклонными к оси поворота и зеркально симметричными относительно нее, а общее количество углов между смежными рамами может быть как четным так и нечетным.

Вариант способа заключается в последовательном соединении верхних и нижних вершин перекладин смежных рам единым зигзагообразным кольцевым ребром (рисунок 59,в), прямые участки которого выполнены равными по длине и зеркально симметричными относительно друг друга. В данном случае общее количество углов между смежными рамами должно быть обязательно четным. Полученный сетчатый каркас из зеркально равных неплоских четырехугольных ячеек заполняется зеркально равными отсеками гипара с соответствующим контуром.

*Девятый способ* образования линейчатых квазимногогранников заключается в следующем. Вокруг оси располагается единое зигзагообразное замкнутое ребро с равными и одинаково наклонными друг к другу зеркально симметричными участками (рисунок 59,г), образующее на плоскости, перпендикулярной оси, проекцию в виде правильного замкнутого выпуклого многоугольника. Вершины зигзагообразного ребра через одну располагаются в двух параллельных плоскостях, перпендикулярных оси. Далее вершины зигзагообразного ребра, расположенные в какой-либо из двух параллельных плоскостей, соединяются с соответствующей произвольно выбранной вершиной на оси, близлежащей к ним; причем ребра образовавшихся двух пучков, соединяющие вершины зигзагообразного ребра с соответствующими вершинами на оси, имеют равную длину, равный наклон к оси и ориентированы в противоположных направлениях по отношению к ней (данное условие является обязательным для обеспечения равенства составляющих результирующую оболочку гиперболических отсеков). В результате получается структурный каркас из рав-

ных неплоских четырехугольных ячеек, которые заполняются зеркально равными отсеками гипара с соответствующим контуром (рисунки 59,д-е).

**Десятый способ** образования линейчатых квазимногогранников основан на преобразовании исходных изоэдральных/равноэлементных сферических разбиений, образованных путем дополнительного внутреннего подразделения на равные части одинаковых правильных сферических ячеек (сферических треугольников, квадратов и пятиугольников) соответственно тетраэдрального, октаэдрального, икосаэдрального, кубического/гексаэдрального и додекаэдрального базовых сферических разбиений.

Для реализации данного способа необходим отбор таких изоэдральных сферических разбиений, у которых контурные геодезические дуги правильных сферических ячеек, а также геодезические дуги их внутренних подразделений очерчивают одинаковые/зеркально равные сферические четырехугольники. Способ заключается в спрямлении участков контурных геодезических дуг правильных сферических ячеек и геодезических дуг их внутренних подразделений соответствующими хордами, а также последующем заполнении полученных неплоских четырехугольных ячеек с прямолинейными контурными кромками одинаковыми/зеркально равными отсеками линейчатой поверхности гиперболического параболоида. Правильные треугольные, квадратные, пятиугольные сферические ячейки с соответствующим внутренним подразделением, приемлемые для реализации данного способа образования линейчатых квазимногогранников, показаны на рисунках 59,ж-и» [329].

**«Одиннадцатый способ** образования линейчатых квазимногогранников. Основной алгоритм моделирования новых типов центрических квазимногогранников из однотипных отсеков линейчатых поверхностей, предложенный автором в качестве данного способа, заключается *в присоединении к выпуклому многогранному ядру, ограниченному правильными многоугольными гранями, объемных модулей с соответствующими правильными многоугольными основаниями, либо состыковке однотипных объемных модулей правильными многоугольными основаниями по принципу образования бипирамид. При этом объемные модули- составные блоки квазимногогранников- имеют ячеистую/*

*складчатую боковую поверхность, образованную состыкованными по кромкам однотипными отсеками линейчатых поверхностей- гиперболического параболоида (гипара) или коноида.*

Основные схемы пространственной компоновки центрических квазимногогранных структур из одинаковых ячеистых объемных модулей, образованных одинаковыми/зеркально равными отсеками линейчатых поверхностей гипара или коноида, показаны на рисунках 60.1-60.11.

*Объемные модули* квазимногогранных структур могут иметь *пирамидообразное* очертание; в данном случае их боковая поверхность составлена из *ячеистых панелей, аппроксимирующих треугольники* (например, рисунки 61, б,г и 65,в,и); при этом результирующая структура может аппроксимировать форму какого-либо звездчатого многолучевого многогранника (например, рисунки 63,е и 65,г).

*Объемные модули* квазимногогранных структур могут иметь *куполообразное* очертание; в данном случае их боковая поверхность составлена из отсеков линейчатых поверхностей, имеющих общую центральную вершину (например, рисунки 68,б,е и 71,д,з).

*Выпуклое многогранное ядро* квазимногогранника может представлять собой один из пяти правильных классических многогранников (рисунки 60.5-60.9) либо бипирамиду из одинаковых боковых равносторонних треугольников с правильным треугольным, квадратным или пятиугольным основанием (рисунки 60.8 и 60.10-60.11). В данном случае все присоединяемые к ядру объемные модули выполняются одинаковыми/однотипными и содержат одинаковые/зеркально равные линейчатые отсеки ячеистой/складчатой боковой поверхности.

Центрические квазимногогранники могут быть образованы по схеме компоновки *бипирамид*, когда исходные объемные пирамидальные модули стыкуются по кромкам правильных многоугольных оснований, имеющих произвольное количество сторон (рисунки 60.1-60.4).

[*Выпуклое многогранное ядро* квазимногогранника также может представлять собой какой-либо многогранник из *разнотипных* правильных граней,

имеющих одинаковую длину сторон (в т.ч. полуправильный- рисунки 60.12-60.13). В этом случае присоединяемые к многогранному ядру пирамидообразные модули для соблюдения равенства линейчатых отсеков должны выполняться *из одинаковых равносторонних треугольных ячеистых панелей*].

С позиций наибольшей промышленно-технологической рациональности и производственно-экономической целесообразности максимальный интерес представляют собой структуры, составленные из одинаковых/зеркально равных сборных линейчатых отсеков. Именно они и рассмотрены в контексте реализации предложенного автором алгоритма.

***Структуры из одинаковых/зеркально равных отсеков гиперболического параболоида (гипара).*** Автором впервые созданы компьютерные модели новых центрических линейчатых квазимногогранников, составленных из одинаковых пирамидообразных модулей, включающих равные/зеркально симметричные отсеки поверхности гипара (некоторые из них показаны на рисунках 60-66).

Так, центрический квазимногогранник (рисунки 60,а,г,е) образован на основе компоновочной схемы 5 (рисунок 60,б), где к квадратным граням кубического многогранного ядра присоединены пирамидообразные модули с соответствующими квадратными основаниями, боковые ячеистые панели которых аппроксимируют треугольники с одной прямой кромкой и составлены из одинаковых/зеркально равных четырехугольных отсеков гипара (рисунок 60, д). При этом результирующая квазимногогранная структура аппроксимирует форму ромбододекаэдра (рисунок 60,в).

В центрических квазимногогранниках, образованных по принципу бипирамид, где стыкуются два одинаковых объемных пирамидообразных модуля, допускается соединение последних по плоским основаниям, очерченным зигзагообразными контурными линиями (в этих случаях треугольные ячеистые панели боковой поверхности модулей могут быть целиком очерчены подобными ломаными контурными линиями).

Так, центрический квазимногогранник (рисунок 61,а), образованный по принципу бипирамиды с квадратным основанием на основе компоновочной

схемы 2 (рисунок 61,д), состоит из двух зеркально симметричных пирамидообразных модулей, состыкованных по основаниям с зигзагообразным контуром, которым также очерчены все ячеистые треугольные панели (рисунок 61, б) его боковой поверхности.

Но в случае наличия у ячеистых треугольных панелей хотя бы одной прямой контурной линии (рисунок 61,г) пирамидообразные модули имеют одинаковые квадратные плоские основания, по которым производится их стыковка с получением результирующей структуры (рисунок 61,в).

Точно по такому же принципу созданы квазимногогранные структуры (рисунки 61,е,з), образованные по принципу бипирамиды с треугольным основанием на основе компоновочной схемы 3 (рисунок 61,к). В данных двух случаях пирамидообразные модули образованы соответственно ячеистыми треугольными панелями с зигзагообразными контурными линиями (рисунок 61,ж) и содержащими одну прямую контурную линию (рисунок 61,и).

Необходимо отметить важное обстоятельство- в обоих случаях при наличии различных по очертанию ячеистых треугольных панелей последние собраны из *одинаковых/зеркально равных отсеков гиперболического параболоида*, что существенно повышает конструктивно-технологические и экономические качества форм изделий.

Новая центрическая квазимногогранная структура (рисунок 62,а) создана на основе компоновочной схемы 6 (рисунок 62,б), где к многогранному ядру- тетраэдру- по равносторонним треугольным граням присоединены четыре одинаковых пирамидообразных модуля с соответствующими равносторонними треугольными основаниями, боковая поверхность которых образована ячеистыми треугольными панелями с одной прямой кромкой (рисунок 62,е). В данном случае очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму четырехлучевого звездчатого многогранника (рисунок 62,в).

Квазимногогранная структура (рисунок 62,г) создана на основе компоновочной схемы 10 (рисунок 62,д), где к боковым равносторонним треугольным граням ядра- тригональной бипирамиды- присоединены шесть одинако-

вых пирамидообразных модулей с соответствующими равносторонними треугольными основаниями, боковая поверхность которых образована ячеистыми треугольными панелями с одной прямой кромкой (рисунок 62,е). В данном случае очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму шестилучевого звездчатого многогранника (рисунок 62,ж).

Линейчатый квазимногогранник (рисунки 62,з,к) создан на основе компоновочной схемы 8 (рисунок 62,и), где к восьми равносторонним треугольным граням ядра- октаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями, боковая поверхность которых образована ячеистыми треугольными панелями с одной прямой кромкой (рисунок 62,м). В этом случае очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму восьмилучевого звездчатого октаэдра Кеплера (рисунок 62,л) [15, С.47, рис.19].

Квазимногогранная структура (рисунки 63,а,д) создана на основе компоновочной схемы 11 (рисунок 63,в), где к десяти равносторонним треугольным граням ядра- пентагональной бипирамиды- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями, боковая поверхность которых образована ячеистыми треугольными панелями с одной прямой кромкой (рисунок 63,б). В этом случае очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму десятилучевого звездчатого многогранника (рисунок 63,г).

Квазимногогранник (рисунки 63,е и 64,а) создан на основе компоновочной схемы 9 (рисунки 63,з и 64,в), где к двадцати равносторонним треугольным граням ядра- икосаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями, боковая поверхность которых образована ячеистыми треугольными панелями с одной прямой кромкой (рисунки 63,ж и 64,б). В этом случае очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму двадцатилучевого звездчатого многогранника- большого звездчатого додекаэдра (рисунки 63,и и 64,г) [15, С.50, рис.22].

Ряд пространственных квазимногогранных структур может быть получен на основе состыкованных пирамидообразных модулей, боковая поверхность которых состоит из *ячеистых панелей с равносторонним треугольным контуром*. В данных случаях из таких панелей могут собираться пирамидообразные модули с различным числом сторон правильных многоугольных оснований; вместе с тем такие панели могут аппроксимировать форму многогранного ядра, непосредственно укладываясь/вставляясь в его треугольные ячейки (совмещаясь с последними по контурным кромкам).

Так, центрический квазимногогранник (рисунок 64,д), образованный по принципу тригональной бипирамиды на основе компоновочной схемы 3 (рисунок 64,е), состоит из двух зеркально симметричных пирамидообразных модулей, состыкованных по равносторонним треугольным основаниям; при этом ячеистые панели боковой поверхности модулей также очерчены равносторонними треугольниками (рисунок 64,ж).

Точно по такому же принципу смоделирована поверхность квазимногогранника (рисунок 66,а), аппроксимирующего форму бипирамиды типа октаэдра (компоновочная схема 2- рисунок 66,б) и образованного двумя пирамидообразными модулями, состыкованными по квадратным основаниям; при этом боковая поверхность обоих модулей включает восемь одинаковых ячеистых панелей, очерченных равносторонними треугольниками (рисунок 66,в).

Однако эти же самые формы могут быть образованы непосредственной укладкой ячеистых треугольных равносторонних панелей на поверхность многогранных ядер- соответственно тригональной бипирамиды и октаэдра- с полным совмещением контурных кромок ячеистых панелей и граней ядер.

Так, на поверхность многогранного ядра- икосаэдра (рисунок 65,б)- непосредственно уложены двадцать ячеистых равносторонних треугольных панелей (рисунок 65,в), кромки которых полностью совмещены с контуром соответствующих треугольных граней ядра (результатирующий многогранник показан на рисунке 65,а).

[Следует учесть, что данная принципиальная схема формообразования приемлема лишь в случаях полного взаимного равенства ячеистых равносто-

ронних треугольных панелей всей составной структуры. Причем, очень важно, что в сферу действия данной компоновочной схемы попадают не только центрические составные структуры, но также замкнутые многогранные формы из одинаковых равносторонних треугольников (*дельтаэдры*), а кроме того - незамкнутые многогранные оболочки с равносторонними треугольными гранями, например, имеющие трубчатое очертание и др.].

Квазимногогранная структура (рисунок 64,з) создана на основе компоновочной схемы 5 (рисунок 64,и), где к шести квадратным граням центрального ядра- куба- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими квадратными основаниями; при этом ячеистые панели боковой поверхности модулей очерчены равносторонними контурными треугольниками (рисунок 64,ж). В этом случае очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму ромбододекаэдра (рисунок 64,к).

Квазимногогранная модель (рисунок 65,г) создана на основе компоновочной схемы 9 (рисунок 65,д), где к двадцати равносторонним треугольным граням ядра- икосаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями, боковая поверхность которых образована равносторонними ячеистыми треугольными панелями (рисунок 65,в). Очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму двадцатилучевого звездчатого многогранника- большого звездчатого додекаэдра (рисунок 65, е).

Квазимногогранная структура (рисунок 65,ж) создана на основе компоновочной схемы 7 (рисунок 65,з), где к двенадцати равносторонним пятиугольным граням правильного ядра- додекаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними пятиугольными основаниями, боковая поверхность которых образована равносторонними ячеистыми треугольными панелями (рисунок 65,и).

Составная структура (рисунок 65,к) создана на основе компоновочной схемы 8 (рисунок 65,л), где к восьми равносторонним треугольным граням правильного ядра- октаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями,

боковая поверхность которых образована равносторонними ячеистыми треугольными панелями (рисунок 65,и). В этом случае очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму восьмилучевого звездчатого октаэдра Кеплера (рисунок 65,м).

Квазимногогранная структура (рисунок 66,г) создана на основе компоновочной схемы 11 (рисунок 66,д), где к десяти равносторонним треугольным граням ядра- пентагональной бипирамиды- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями, боковая поверхность которых образована равносторонними ячеистыми треугольными панелями (рисунок 66,в). В этом случае очертание результирующей квазимногогранной структуры аппроксимирует форму десятилучевого звездчатого многогранника (рисунок 66,е).

Чрезвычайно интересным решением квазимногогранника, аппроксимирующего звездчатую двенадцатилучевую форму классического большого икосаэдра [15, С.75, рис.41], следует считать структуру (рисунки 66,ж,к), созданную на основе компоновочной схемы 7 (рисунок 66,и), где к двенадцати равносторонним пятиугольным граням ядра- додекаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними пятиугольными основаниями, каждый из которых составлен из десяти четырехугольных гиперболических отсеков, имеющих общее центральное осевое ребро, крайние вершины которого поочередно соединены с серединами сторон основания и его угловыми вершинами (рисунок 66,з).

[По такому же принципу могут быть сформированы исходные пирамидообразные модули с правильным треугольным и квадратным основаниями, которые после присоединения к граням соответствующего правильного многогранного ядра образуют звездчатые квазимногогранники]» [337].

***Структуры из одинаковых/зеркально равных отсеков коноида.*** Автором впервые созданы компьютерные модели новых центрических линейчатых квазимногогранников, составленных из одинаковых пирамидообразных модулей, включающих равные/зеркально симметричные отсеки поверхности *коноида* (некоторые из них показаны на рисунках 67-72).

*Общий алгоритм морфологического моделирования данных структур заключается в компоновке пирамидообразных или куполообразных модулей с правильными многоугольными основаниями по поверхности многогранного ядра, когда основания модулей полностью совмещаются с гранями ядра.*

*При этом в каждом из пирамидообразных модулей отсеки поверхности коноида составлены таким образом, что имеют общее центральное осевое ребро, крайние вершины которого соединены поочередно прямыми ребрами и одинаковыми плоскими дугами с серединами сторон многоугольного основания и его угловыми вершинами.*

*А в каждом из куполообразных модулей отсеки поверхности коноида составлены таким образом, что имеют общую центральную осевую вершину, поочередно соединенную плоскими Г-образными и дугообразными ребрами с серединами сторон многоугольного основания и его угловыми вершинами.*

Так, квазимногогранная структура (рисунки 67,а,г) создана на основе компоновочной схемы 7 (рисунок 67,в), где к двенадцати равносторонним пятиугольным граням ядра- додекаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними пятиугольными основаниями. При этом каждый из модулей (рисунок 67,б) включает десять одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общего центрального осевого ребра, верхняя точка которого соединена пятью плоскими выпуклыми дугообразными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена пятью прямыми ребрами с серединами сторон основания. Результирующая структура имеет ярко выраженный природообразный облик, ассоциируясь с цветком или радиолярией.

Новая квазимногогранная структура (рисунки 67,д,з) создана на основе компоновочной схемы 5 (рисунок 67,ж), где к шести квадратным граням ядра-куба- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними квадратными основаниями. При этом каждый из модулей (рисунок 67,е) включает восемь одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общего центрального осевого ребра, верхняя точка которого соединена четырьмя плоскими выпуклыми дугообраз-

ными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена четырьмя прямыми ребрами с серединами сторон основания.

Квазимногогранная форма (рисунки 68,а,г) создана на основе компоновочной схемы 5 (рисунок 68,в), где к шести квадратным граням ядра- куба- присоединены одинаковые куполообразные модули с соответствующими равносторонними квадратными основаниями. При этом каждый из куполообразных модулей (рисунок 68,б) включает восемь одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общей центральной осевой вершины, поочередно соединенной четырьмя плоскими Г-образными ребрами с угловыми вершинами многоугольного основания и четырьмя одинаковыми выпуклыми дугообразными ребрами- с серединами сторон основания.

Тот же принцип положен в основу создания квазимногогранной формы (рисунки 68,д,з), созданной на основе компоновочной схемы 5 (рисунок 68, ж), где к шести квадратным граням ядра- куба- присоединены одинаковые куполообразные модули с соответствующими равносторонними квадратными основаниями. Но в этом случае каждый из куполообразных модулей (рисунок 68,е) включает восемь одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общей центральной осевой вершины, поочередно соединенной четырьмя плоскими Г-образными ребрами с серединами сторон многоугольного основания и четырьмя выпуклыми дугообразными ребрами- с угловыми вершинами основания.

Новая структурная модель (рисунки 69,а,г) создана на основе компоновочной схемы 9 (рисунок 69,в), где к двадцати равносторонним треугольным граням ядра- икосаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями. При этом каждый из модулей (рисунок 69,б) включает шесть одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общего центрального осевого ребра, верхняя точка которого соединена тремя плоскими выпуклыми дугообразными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена тремя прямыми ребрами с серединами сторон основания.

Плоские дуги в структуре пирамидообразных и куполообразных модулей центрических квазимногогранников на основе коноидальных отсеков могут выполняться как выпуклыми так и вогнутыми. В последнем случае результирующие структуры отличаются оригинальным природообразным остроугольным звездчатым силуэтом, определенно ассоциируясь с радиоляриями, морскими ежами и снежинками.

Так, в структурной модели (рисунки 69,д,з), созданной на основе компоновочной схемы 9 (рисунок 69,ж), к двадцати равносторонним треугольным граням многогранного ядра- икосаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями. При этом каждый из модулей (рисунок 69,е) включает шесть одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общего центрального осевого ребра, верхняя точка которого соединена тремя плоскими вогнутыми дугообразными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена тремя прямыми ребрами с серединами сторон основания.

Структурная модель (рисунки 70,а,г) создана на основе компоновочной схемы 7 (рисунок 70,в), где к двенадцати равносторонним пятиугольным граням ядра- додекаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними пятиугольными основаниями. При этом каждый из модулей (рисунок 70,б) включает десять одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общего центрального осевого ребра, верхняя точка которого соединена пятью плоскими вогнутыми дугообразными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена пятью прямыми ребрами с серединами сторон основания.

Структурная модель (рисунки 70,д,з) создана на основе компоновочной схемы 8 (рисунок 70,ж), где к восьми равносторонним треугольным граням ядра- октаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями. Каждый из модулей (рисунок 70,е) включает шесть одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием центрального осевого ребра, верхняя точ-

ка которого соединена тремя плоскими выпуклыми дугообразными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена тремя прямыми ребрами с серединами сторон основания.

Новая квазимногогранная структура (рисунок 71,а) создана на основе компоновочной схемы 5 (рисунок 71,в), где к шести квадратным граням многогранного ядра- куба- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими квадратными основаниями. Каждый из модулей (рисунок 71,б) включает восемь одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общего центрального осевого ребра, верхняя точка которого соединена четырьмя плоскими вогнутыми дугообразными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена четырьмя прямыми ребрами с серединами сторон основания.

В основу создания квазимногогранной формы (рисунок 71,г) положена компоновочная схема 2 (рисунок 71,е), где базовый куполообразный модуль (рисунок 71,д) соединен с аналогичным по квадратным основаниям. В этом случае каждый из двух состыкованных по принципу бипирамиды куполообразных модулей включает восемь одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, состыкованных с образованием общей центральной осевой вершины, поочередно соединенной четырьмя плоскими Г-образными ребрами с серединами сторон многоугольного основания и четырьмя выпуклыми плоскими дугообразными ребрами- с угловыми вершинами основания.

По принципиально аналогичной компоновочной схеме (рисунок 71,и) создана квазимногогранная структура (рисунок 71,ж), где базовый куполообразный модуль (рисунок 71,з) соединен с аналогичным по равносторонним шестиугольным основаниям. В этом случае каждый из двух состыкованных по принципу бипирамиды куполообразных модулей включает двенадцать одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, состыкованных с образованием общей центральной осевой вершины, поочередно соединенной шестью одинаковыми плоскими Г-образными ребрами с угловыми вершинами основания и шестью выпуклыми дугообразными плоскими ребрами- с серединами сторон многоугольного основания.

Новая квазимногогранная структура (рисунок 72,а) создана на основе компоновочной схемы 8 (рисунок 72,в), где к восьми равносторонним граням ядра- октаэдра- присоединены одинаковые пирамидообразные модули с соответствующими равносторонними треугольными основаниями. При этом каждый из модулей (рисунок 72,б) включает шесть одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, соединенных с образованием общего центрального осевого ребра, верхняя точка которого соединена тремя плоскими вогнутыми дугообразными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена тремя прямыми ребрами с серединами сторон основания.

В основу создания квазимногогранной формы (рисунок 72,г) положена компоновочная схема 2 (рисунок 72,е), где пирамидообразный модуль (рисунок 72,д) соединен с аналогичным по квадратным основаниям. В этом случае каждый из двух состыкованных по принципу бипирамиды составных модулей включает восемь одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, состыкованных с образованием общего центрального осевого ребра, верхняя точка которого соединена четырьмя плоскими выпуклыми дугообразными ребрами с угловыми вершинами основания модуля, а нижняя его точка соединена четырьмя прямыми ребрами с серединами сторон основания.

По аналогичной компоновочной схеме 2 (рисунок 72,е) создана квазимногогранная структура (рисунок 72,ж), где базовый куполообразный модуль (рисунок 72,з) соединен с аналогичным по квадратным основаниям. В этом случае каждый из двух состыкованных по принципу бипирамиды куполообразных модулей включает восемь одинаковых/зеркально равных отсеков коноида, состыкованных с образованием общей центральной осевой вершины, поочередно соединенной шестью одинаковыми плоскими Г-образными ребрами с угловыми вершинами основания и шестью выпуклыми дугообразными плоскими ребрами- с серединами сторон многоугольного основания.

Весьма перспективной и продуктивной в композиционном и конструктивном отношении является *алгоритм складчатой аппроксимации* поверхности полученных автором линейчатых квазимногогранников, описанных выше. С его использованием показано преобразование линейчатого квазиоктаэдра

(рисунок 54,г) в складчатую модель (рисунок 54,е); таким же образом линейчатый квазиикосаэдр (рисунок 54,б) преобразуется в складчатую модель (рисунок 54,д). В приведенных вариантах плоскогранной складчатой аппроксимации однотипные гладкие ромбовидные элементы-гипары исходных квазимногогранников заменяются на одинаковые складки из треугольных граней.

## **2.5. Моделирование регулярных фрактально-ступенчатых и фрактально-решетчатых дискретных структур**

Геометрическое конструирование многогранных оболочек в течение веков являлось одним из наиболее наукоемких, сложных и интересных направлений архитектурного формообразования с колоссальными практическими перспективами. Особый приоритет в исследованиях и формотворческих экспериментах неизменно отводился плоскогранным замкнутым многогранникам: им посвящены многие научные работы и десятки изобретений.

Вместе с тем необходимо отметить, что научно-методические труды по геометрическому конструированию составных оболочек, образованных пространственными модулями с *фрактальной внутренней структурой* (в т.ч. имеющих замкнутый центрический объем), полностью отсутствуют.

Цель настоящего раздела работы- представить новые созданные автором элементарные базовые формы- составные (в т.ч. замкнутые центрические) дискретные оболочки, образованные состыкованными по кромкам пространственными модулями с фрактальной внутренней структурой, а также системно изложить алгоритм/методику их геометрического конструирования.

Новые предложенные автором составные структуры предложено называть ***фрактально-ступенчатыми и фрактально-решетчатыми*** (данное название представленного в работе типа пространственных структур вводится в научный оборот впервые).

1. Поверхность *фрактально-ступенчатых структур* формируют одинаковые фрактально-ступенчатые пирамидообразные модули, имеющие правильное многоугольное основание (треугольное, квадратное, пяти-, шести- или восьмиугольное).

Конфигурацию пирамидообразных модулей определяют подобные основанию плотно соединенные между собой многоугольные слои, повернутые относительно друг друга в одну какую-либо сторону вокруг центральной оси до соприкосновения с контуром нижележащего многоугольного слоя и уменьшающиеся от основания к верхнему слою/ступени. В результате образуются объемы с фрактальной структурой и закрученной в какую-либо сторону многослойной складчатой/ступенчатой поверхностью. Полученные модули соединяются по контурным кромкам правильных многоугольных оснований.

При соединении друг с другом по принципу компоновки формы правильных и полуправильных классических многогранников они способны образовывать замкнутые *фрактально-ступенчатые псевдомногогранники- псевдооктаэдр, псевдоикосаэдр и псевдокуб* (рисунки 97,а,б,в). Аналогичными действиями получают фрактально-ступенчатые псевдотетраэдр, псевдододекаэдр, а также все полуправильные псевдомногогранники. Способ позволяет паркетировать поверхность всех более сложных объемных фигур (замкнутых или разомкнутых), состоящих из одинаковых или различных правильных плоских многоугольных ячеек, в т.ч. многогранников-*дельтаэдров*.

При этом пирамидообразные фрактально-ступенчатые модули могут стыковаться друг с другом по нецелым сторонам, т.е. со сдвигом относительно друг друга, образуя многоугольные ячейки в результирующих структурах.

2. Поверхность *фрактально-решетчатых структур* формируют одинаковые фрактально-решетчатые модули, выполненные в виде контурной рамы из ребер или стержней, имеющей очертание какого-либо правильного многоугольника (квадрата, треугольника, пяти-, шести- или восьмиугольника) с внутренней решеткой. Ее образуют подобные контурной раме многоугольные внутренние рамы, уменьшающиеся от наибольшего контурного многоугольника к наименьшему в центральной зоне, вставленные друг в друга и повернутые/закрученные в какую-либо одну сторону относительно друг друга вокруг центральной оси до соприкосновения с контуром соседнего большего многоугольника. Результирующие решетчатые модули с фрактальной структурой со-

единяются друг с другом по кромкам правильных контурных многоугольников в различных пространственных вариантах.

Так, фрактально-решетчатые модули с треугольными или квадратными контурными рамами, соединенные друг с другом по принципу компоновки формы правильных классических многогранников, образуют *фрактально-решетчатые псевдомногогранники- псевдоикосаэдр, псевдооктаэдр и псевдокуб* (рисунки 97,г-е). Аналогичными действиями получают также фрактально-решетчатые псевдотетраэдр, псевдододекаэдр и различные полуправильные псевдомногогранники.

Фрактально-решетчатые модули при соединении друг с другом способны образовывать также незамкнутые составные структуры (плоскостные, сводчатые, трубчатые, сложные) с различными композиционными свойствами (в том числе, возможно соединение модулей в плоскостные или пространственные системы по нецелым сторонам, т.е. со сдвигом относительно друг друга). [Одна из таких структур, образующая сплошной сводчатый решетчатый потолок общественного сооружения, показана на рисунке 140]. При этом вставленные друг в друга коробчатые/стержневые многоугольные рамы внутренней решетки модулей могут иметь одинаковую или различную высоту, которая может последовательно уменьшаться/увеличиваться от элемента к элементу.

## **2.6. Моделирование новых типов многомодульных мегаструктур на основе классических многогранников**

Если по модульным многогранникам плотнейшего заполнения пространства существует хоть какая-то малочисленная научная/аналитическая литература [1], [20], [24], [48], [76]-[77], то в отношении формообразования *многозвенных мегаструктур, составленных из классических многогранников или их частей*, современной науке практически ничего неизвестно- автор не смог обнаружить ни одного системного труда, где бы на соответствующем уровне освещались вопросы геометрического конструирования таких чрезвычайно своеобразных стержневых, решетчатых и разветвленных многогранных конгломератов. Это объясняется исключительной сложностью исследований, где экспериментальные поиски должны быть обязательно комплексными (компьютер-

ное трехмерное моделирование + физическое макетирование). Тем более велика значимость проводимого автором комплексного исследования и его практических результатов, полученных в рамках настоящей работы.

Таким образом, цель этого раздела диссертации- разработать научные основы и определить формотворческий потенциал вариативного геометрического моделирования многозвенных мегаструктур, имеющих линейную/стержневую, разветвленную или решетчатую/сетчатую/ячеистую конфигурацию и составленных из классических замкнутых многогранников или их частей, а также создать комплекс технических решений таких структур для практических целей современного дизайна.

Для исследования проблемы создания многокомпонентных мегаструктур из многогранных модулей выбраны три базовых классических многогранника- *икосаэдр, додекаэдр и ромбоикосододекаэдр*. Экспериментально исследовались их способности образовывать пространственные формы линейной/стержневой, а также разветвленной и сквозной решетчатой конфигурации при соединении целых многогранников или их частей друг с другом по целым граням или многоугольным усечениям.

**1. Икосаэдр** (рисунок 48,а). Этот базовый правильный многогранник Платона характерен наличием на его поверхности трех независимых пирамидальных пятиугольных «чаш», которые в различных комбинациях могут отделяться от целого объема (так, по две «чаши» в разных вариантах отделены на рисунках 48,б,г, а три «чаши» одновременно отделены на рисунке 48,в).

В результате возможно соединение полученных многогранных отсеков по пятиугольным усечениям с образованием сквозных решетчатых составных мегаструктур из шестиугольных ячеек, где использованы все три варианта многоугольных усечений базового многогранника (рисунок 48,д).

Элементарные стержневые участки получают при соосной стыковке по параллельным пятиугольным усечениям ряда модульных отсеков, а разветвленные конфигурации- при однократной или многократной узловых стыковке линейных/стержневых многозвенных участков (на том же рисунке).

Ячейки структуры могут варьироваться по пропорциям в зависимости от количества соосных усеченных модулей-звеньев, формирующих их линейные участки (выполняться удлиненными в продольном или поперечном направлении, а также быть различными по пропорциям в разных рядах), с соблюдением обязательного условия- *одновременного* пропорционального модифицирования какого либо поперечного ряда (или рядов) ячеек путем увеличения или уменьшения количества модулей в их параллельных линейных участках.

Результирующие решетчатые мегаструктуры могут иметь вариативную плоскостную или сводчатую (в т.ч. спиралевидную) конфигурацию с регулярными или произвольными изломами в соответствующих узлах или звеньях параллельных линейных участков, расположенных на одной поперечной оси, в зависимости от местоположения пятиугольных контактных усечений.

[Замкнутые многогранные структуры, составленные из равносторонних треугольников, в кристаллографической геометрии носят название *дельтаэдров*. Среди них восемь являются выпуклыми (три- тела Платона, пять- многогранники Джонсона). При этом следует отметить, что до сих пор никакой информации о дельтаэдрах в виде многокомпонентных сквозных ячеистых мегаструктур не существовало; таким образом, полученные автором разновидности разветвленных и решетчатых структур этого морфологического типа- пионерные].

Экспериментальные попытки автора получить решетчатые структуры замкнутой трубчатой и сфероподобной форм на основе отсеков икосаэдра (компьютерное трехмерное моделирование и объемное макетирование) дали отрицательный результат.

**2. Додикаэдр** (рисунок 49,а). Комбинаторное моделирование составных многозвенных мегаструктур на основе этого правильного многогранника Платона осуществлено без его усечения, и стыковка базовых модулей произведена по контурным кромкам целых контактных пятиугольных граней (соосная стыковка развернутых друг относительно друга модулей с образованием элементарной линейной/стержневой структуры показана на рисунке 49,б).

В результате узловой стыковки подобных стержневых участков получен комплекс вариативных бесконечных многозвенных сквозных мегаструктур (одна из них показана на рисунке 49,в), решетки которых образованы шестиугольными ячейками, варьируемыми по пропорциям в зависимости от количества соосных многогранных модулей-звеньев, формирующих их линейные/стержневые участки (выполняться удлиненными в продольном или поперечном направлении, а также быть различными по пропорциям в разных рядах).

Производные решетчатые мегаструктуры могут иметь плоскостное или цилиндрическое (в т.ч. спиралевидное) очертание с регулярными или произвольными изломами в соответствующих узлах или звеньях параллельных линейных участков, расположенных на одной поперечной оси, в зависимости от местоположения пятиугольных контактных граней.

Экспериментальное трехмерное моделирование показало, что вариативная стыковка додекаэдров способна образовывать решетчатые мегаструктуры более сложной конфигурации. Так, на рисунке 51,а представлен фрагмент бесконечной структуры плоскостного ломаного очертания, содержащей сквозные ромбовидные проемы/ячейки. На рисунке 51,в показана модель решетчатой составной структуры ромбического очертания с внутренним подразделением на девять мелких ячеек, содержащих многоугольные сквозные проемы. А на рисунке 51,б три подобные ромбические многоэлементные решетки соединены по боковым многогранным участкам с образованием центрального узлового модуля; при этом результирующая составная объемная структура имеет куполообразное очертание.

Базовые додекаэдры могут соединяться с образованием двенадцатилучевой бесконечной звездчатой центрической структуры (рисунок 52,в); при этом экспериментальные попытки получить непрерывную/бесконечную регулярную пространственную мегаструктуру из множества состыкованных друг с другом аналогичных звездчатых конгломератов не дали практических результатов.

Следует отметить, что все вышеописанные инструментальные/операционные ограничения/условия геометрического конструирования в полной мере

применимы к двум родственным додекаэдру базовым многогранникам- усеченному додекаэдру и ромбоусеченному икосододекаэдру [15].

[По аналогии с упомянутыми выше *дельтаэдрами* замкнутые многогранные формы из правильных пятиугольных граней (и в первую очередь- составные структуры из модулей-додекаэдров или их частей) предложено называть *пентаэдрами*- они получены, описаны и определены/названы автором работы впервые].

**3. Ромбоикосододекаэдр** (рисунок 50,а). Такой базовый полуправильный многогранник Архимеда характерен наличием на его поверхности трех независимых десятиугольных «чаш», которые в различных комбинациях могут отделяться от целого объема (так, две «чаши» отделены на рисунке 50,б, а три «чаши» одновременно отделены на рисунке 50,в).

В результате возможно соединение полученных многогранных отсеков по десятиугольным усечениям с образованием сквозных решетчатых составных мегаструктур из шестиугольных ячеек, где использованы все три варианта многоугольных усечений базового многогранника (рисунок 50,г).

Ячейки результирующих структур могут варьироваться по пропорциям в зависимости от количества соосных усеченных модулей-звеньев, формирующих их линейные участки (выполняться удлиненными в продольном или поперечном направлении, а также быть различными по пропорциям в разных рядах) с соблюдением вышеописанного обязательного условия их пропорционального модифицирования.

Производные сквозные мегаструктуры могут иметь вариативную плоскостную или цилиндрическую/спиралевидную конфигурацию с регулярными или произвольными изломами в соответствующих узлах или звеньях параллельных линейных участков, расположенных на одной поперечной оси, в зависимости от местоположения десятиугольных контактных усечений.

Также как и в предыдущих двух случаях, компьютерное трехмерное моделирование и макетирование решетчатых мегаструктур замкнутой трубчатой или сфероподобной формы на основе отсеков ромбоикосододекаэдра не дало положительных результатов.

(В настоящее время автором проводятся аналогичные исследования следующей группы классических полуправильных многогранников Архимеда: усеченного тетраэдра, усеченного октаэдра, ромбокубооктаэдра, усеченного икосаэдра, ромбоусеченного кубооктаэдра и икосододекаэдра [15]).

**Одно- и двухслойные сквозные/решетчатые мегаструктуры из многогранных отсеков.** Представленные в настоящей работе формы этого типа созданы автором на основе базовых модулей в виде одного трехгранного и двух четырехгранных отсеков.

Так, на основе трехгранного отсека додекаэдра (рисунок 52,а) образована ячеистая решетчатая тонкостенная/оболочечная структура, правильные шестиугольные сквозные проемы которой очерчены сторонами пятиугольных пластин (рисунок 52,б). Эта однослойная поверхность при ее зеркальном отражении и стыковке с производной копией по кромкам сквозных проемов образует двухслойную составную мегаструктуру, содержащую внутреннюю разветвленную трубчатую полость.

Точно такая же операционная схема применена при создании решетчатых регулярных дискретных структур на основе четырехгранных отсеков из комбинации пятиугольных и четырехугольных пластин (рисунок 53,а), а также пятиугольных граней двух типоразмеров (рисунок 53,д). Однослойные производные решетчатые структуры с шестиугольными проемами на их основе показаны на рисунках 53,б и 53,е соответственно.

Далее, каждая из однослойных структур соединена по кромкам шестиугольных проемов с собственной зеркальной копией с образованием двухслойных многогранных оболочек, ограждающих единую внутреннюю разветвленную трубчатую полость (рисунки 53,в-г и 53,ж-з соответственно).

## **2.7. Моделирование новых типов изоэдральных сферических разбиений и звездчатых многогранников на их основе**

«Актуальность развития направления формообразования сферических объектов в современном дизайне абсолютно очевидна и не требует каких-либо доказательств: дизайн технически эффективных сферических объектов имеет весьма широкие функционально-типологические границы.

Между тем известные на сегодняшний день научно-изобретательские работы в области эффективного равноэлементного паркетирования сферических объектов [75], [116], [182], [184], [200] датируются еще прошлым веком и не дают ответов на многие актуальные вопросы художественно-эстетического и технического структурного формообразования современных объектов сферической конфигурации в архитектуре и дизайне.

Таким образом, цель настоящего раздела работы- сформулировать новые научные формотворческие подходы/концепции к равноэлементному геометрическому структурированию современных объектов сферической формы, а также представить спектр полученных автором некоторых форм изоэдральных сферических разбиений и звездчатых многогранников на их основе для различных сфер дизайна.

В работе исследуются особенности геометрического моделирования изоэдральных/равноэлементных сферических разбиений, где одинаковые/зеркально равные элементы (отсеки сферы) могут быть очерчены геодезическими кривыми, а также произвольными плоскими или неплоскими кривыми различного очертания. При этом сами многоугольные элементы паркетирования поверхности сферы по своей контурной конфигурации могут быть выпуклыми, невыпуклыми, а также многолучевыми/звездчатыми.

Также рассмотрены алгоритмы получения переменных производных звездчатых и сотовых/ячеистых многогранников с центрической структурой на основе созданных изоэдральных сферических разбиений различных типов и составленных из выпуклых или заглубленных внутрь поверхности сферы одинаковых пирамидальных отсеков.

*Основной алгоритм формотворческой технологии образования изоэдральных сферических разбиений заключается в создании вариативных дополнительных подразделений исходных разбиений- центральных проекций равноэлементных многогранников- на поверхность сферы. Он может быть реализован в трех вариантах.*

**Первый вариант основного алгоритма.** Начальный этап образования изоэдральных/равноэлементных подразделений сферы заключается в постро-

ении какой-либо линии произвольного очертания (ломаной, кривой, комбинированной) на ее поверхности, которая обязательно проходит через середину геодезического участка исходной равноэлементной разбивки- центральной проекции какого-либо равноэлементного многогранника на поверхность сферы- и приходит к его двум вершинам с разных сторон, при этом обладая лишь осью поворотной симметрии второго порядка, где ось- нормаль, проходящая из центра сферы через середину данного геодезического участка исходной разбивки.

На втором этапе построенная линия переносится скольжением по сферической поверхности на все геодезические участки исходной разбивки- таким образом получается новая равноэлементная разбивка сферы. [На данном этапе дальнейшие модификации объекта можно прекратить, приняв полученную новую сферическую разбивку за конечный результат].

Дальнейшая модификация новой разбивки (третий этап) заключается в соединении однотипных вершин каждого из сферических многоугольников новой разбивки с его центром пучком дополнительных одинаковых произвольных линий (плоских геодезических, кривых, ломаных), исходящих из центра многоугольника и расположенных на поверхности сферы по принципу поворотной симметрии. В результате получается еще один результирующий вариант изоэдрального разбиения сферы.

Таким образом, изменяя конфигурацию линий дополнительного подразделения какой-либо исходной сферической разбивки, можно получить бесчисленное множество новых равноэлементных разбиений сферической поверхности на ее основе.

**Второй вариант основного алгоритма.** В этом случае каждая многоугольная сферическая ячейка исходной разбивки получает дополнительное подразделение пучком одинаковых произвольных линий (плоских геодезических, кривых, ломаных, комбинированных), исходящих из центра ячейки и расположенных на поверхности сферы по принципу поворотной симметрии. Данные линии могут приходить в вершины ячейки исходной разбивки либо соединяться с ее соответствующими сторонами. Здесь вариативность резуль-

тирующих сферических разбиений целиком определяется очертанием линий пучка, т.е. дополнительного подразделения каждой из ячеек исходной разбивки.

*Третий вариант основного алгоритма.* Он приемлем для дополнительного подразделения лишь одной исходной разбивки- центральной проекции куба на поверхность сферы. В соответствии с ним на первом этапе снаружи от одной из сторон сферического квадрата исходной разбивки выстраивается какая-либо произвольная сферическая линия (ломаная, кривая, комбинированная), соединяющая две ее крайние вершины. Далее, на втором этапе вокруг одной из вершин квадрата данная линия по сферической поверхности перемещается/поворачивается внутрь сферического квадрата на смежную его сторону, образуя вторую сторону новой разбивки. После этого каждая из двух полученных линий перемещается по сферической поверхности на соответствующие противоположные стороны квадратной ячейки, поворачиваясь вокруг ее центра (третий этап). Полученную разбивку из новых сферических многоугольников можно принять за конечный результат, не производя дальнейших модификаций.

При необходимости производится дальнейшая модификация полученной разбивки (четвертый этап), предусматривающая соединение каких-либо ее однотипных вершин дополнительными одинаковыми произвольными линиями (плоскими геодезическими, кривыми, ломаными, комбинированными), исходящими из центра ячейки и расположенными на поверхности сферы по принципу поворотной симметрии.

Исследования показали, что формообразующий потенциал вышеизложенных технологий геометрического моделирования дискретных равноэлементных сферических объектов с регулярной структурой не поддается даже приблизительной количественной оценке и является колоссальным.

На основе новых сферических равноэлементных разбиений, полученных при реализации вышеизложенных формотворческих технологий геометрического моделирования, может быть образован комплекс *звездчатых и сотовых многогранников* нового типа.

Основная последовательность получения новых сферических разбиений, а также звездчатых и сотовых многогранников на их основе представлена на примере преобразования исходной сферической разбивки- центральной сферической проекции додекаэдра, содержащей одинаковые равносторонние пятиугольные ячейки, очерченные геодезическими участками (рисунок 73).

Через середины геодезических участков пятиугольных ячеек исходной сферической разбивки (рисунок 73,а) проведены одинаковые сферические зигзагообразные линии, соединяющие вершины геодезических участков с разных сторон; при этом у каждой ломаной линии ее половины расположены по принципу поворотной симметрии второго порядка относительно середины соответствующего геодезического участка пятиугольной ячейки (рисунок 73,б). В результате получена новая изоэдральная разбивка сферы на двенадцать одинаковых пятилучевых звездчатых многоугольников, каждый из которых очерчен пятнадцатью сферическими контурными участками. [В данном примере первый этап является завершающим в цепочке последовательных операций модификации разбиения сферы, хотя дальнейшие преобразования полученного разбиения принципиально возможны].

Далее, новое равноэлементное сферическое разбиение можно преобразовать в соответствующие звездчатые и сотовые многогранники путем *нормального проецирования центров пятилучевых звездчатых многоугольников внутрь сферической поверхности или наружу от нее и соединяя полученные таким образом вершины с вершинами соответствующих многоугольников разбивки со спрямленными сторонами контура*. В результате в первом случае получается западающая внутрь сферы многогранная ячеистая/сотовая оболочка из одинаковых обратных тонкостенных/полых пирамидальных отсеков, обращенных вершинами к центру сферы (один из таких отсеков показан на рисунке 73,в). Во втором случае образуется оболочка звездчатого многогранника, составленного из одинаковых выступающих пирамидальных пиков (один из них показан на рисунке 73,г).

Безусловно, среди колоссального множества всевозможных изоэдральных сферических разбиений существуют наиболее выразительные с художест-

венно-эстетической стороны и рациональные/целесообразные с технологической стороны. Среди таковых определенно выделяются сферические изоэдры, многоугольные элементы которых очерчены *геодезическими дугами*- отрезками большого круга (диаметра). Именно им уделено особое внимание в процессе моделирования.

Таким образом, в настоящей работе представлены полученные автором некоторые новые равноэлементные сферические разбиения, одинаковые многоугольные элементы которых очерчены *геодезическими дугами*, а также показаны отдельные звездчатые и сотовые многогранники на их основе.

Все новые сферические разбиения получены автором с использованием вышеописанных разработанных им алгоритмов, способов и приемов путем преобразования исходных центральных сферических проекций девяти основных типов равноэлементных многогранников.

### ***1. Центральная сферическая проекция икосаэдра*** (рисунок 74.1а).

Все полученные решения на ее основе отличает высокая выразительность. Среди них определенно выделяются составные звездчатые модификации: -из двадцати трехлучевых звезд (рисунки 74.1в,и,е,з), -из двенадцати пятилучевых звезд (рисунки 74.1г и 75.1м,о,р).

С технической точки зрения значительный интерес представляют разбиения на выпуклые сферические многоугольники- пятиугольники (рисунок 74.1б) и четырехугольники (рисунки 74.1д,ж,к,л и 75.1п,с), которые стыкуются на поверхности сферы по целым или нецелым сторонам. Данные разбиения весьма технологичны в изготовлении и образованы 60 одинаковыми выпуклыми сферическими отсеками, что обуславливает их патентоспособность.

Разбиения (рисунки 74.1б-к и 75.1м,о,р) образованы с использованием первого варианта основного алгоритма, а разбиения (рисунки 74.1л и 75.1н, п,с) получены при использовании его второго варианта.

На основе данных разбиений образованы различные сотовые и звездчатые многогранные модификации. Преобразование разбиения (рисунок 74.1б) позволяет получить сотовый многогранник, где вершины полых пирамидальных отсеков стыкуются в центре сферы, а также его выпуклую модификацию,

где многогранные пятиугольные соты слегка выступают над поверхностью сферы, перемежаясь бороздами (рисунок 75, соты 1б). Но это же разбиение может быть преобразовано в звездчатый многогранник из шестидесяти одинаковых пятигранных пирамидальных пиков (рисунок 75, звезда 1б).

На основе разбиения (рисунок 74.1в) создан звездчатый многогранник из двадцати девятигранных пирамидальных пиков (рисунок 75, звезда 1в); а на основе разбиения (рисунок 74.1г) образован звездчатый многогранник из двенадцати пятнадцатигранных пирамидальных пиков (рисунок 75, звезда 1г).

**2. Центральная сферическая проекция куба** (рисунок 76.2а). Здесь необходимо выделить четырехлучевые звездчатые модификации (рисунки 76.2д и 77.2н), а также трехлучевую звездчатую разбивку (рисунок 77.2к).

Разбиения (рисунки 76.2б-е и 77.2к,м-о) получены с использованием первого варианта основного алгоритма, в ряде случаев в комбинации со вторым его вариантом. Разбиения (рисунки 77.2з-и) созданы с применением второго варианта алгоритма. Результат использования третьего варианта алгоритма представлен на рисунке 76.2ж; а в сочетании со вторым- на рисунке 77.2л.

На рисунках 76.2б,в,е и 77.2о можно видеть разбиения из сферических многоугольников Т, Ш, Г, П-образной конфигурации.

Отличаются высокими технологическими качествами разбиения из выпуклых фигур: -24 пятиугольников (рисунок 77.2м), -12 пятиугольников (рисунок 77.2л), -24 четырехугольников (рисунки 76.2г и 77.2и), -12 четырехугольников (рисунок 77.2з).

Высокой выразительностью и необычным внешним обликом выделяются производные составные звездчатые многогранники: - из шести двенадцатигранных пирамидальных пиков (рисунки 77, звезды 2д и 2п), -из шести восьмигранных пиков (рисунок 77, звезда 2ж), -из 24 пятигранных пирамидальных отсеков (рисунок 77, звезда 2м), -из восьми девятигранных пиков (рисунок 77, звезда 2к).

**3. Центральная сферическая проекция тетраэдра** (рисунок 78.3а).

Сферические звездчатые разбиения (рисунки 78.3в,г и 79.3ж), а также разбиения на выпуклые пятиугольники (рисунок 78.3б) и четырехугольники

(рисунки 79.3д-е) получены с использованием первого варианта основного алгоритма, в ряде случаев в комбинации со вторым его вариантом.

В данной категории своей формой выделяются производные составные звездчатые многогранники: -из четырех девятигранных пиков (рисунки 79, звезды 3в и 3ж), -из восьми девятигранных пирамидальных отсеков (рисунок 79, звезда 3г).

#### ***4. Центральная сферическая проекция октаэдра*** (рисунок 79.4а).

Здесь сферические звездчатые разбиения (рисунки 79.4б,д и 80.4е), а также разбиения на выпуклые пятиугольники (рисунок 79.4в) и четырехугольники (рисунок 79.4г) получены с использованием первого варианта основного алгоритма, в ряде случаев в комбинации со вторым его вариантом.

Производные составные звездчатые многогранники представлены следующими вариантами: -из восьми девятигранных пиков (рисунки 80, звезды 4б и 4д), -из шести двенадцатигранных пирамидальных отсеков (рисунок 80, звезда 4е).

Необходимо отметить, что некоторые вышеописанные геодезические разбивки на основе сферической проекции октаэдра (например, рисунки 79.4в-д и 80.4е-ж) являются идентичными/родственными соответствующим разбивкам на основе сферической проекции куба (рисунки 76.2г и 77.2к,м-о).

***5. Центральная сферическая проекция додекаэдра*** (рисунок 80.5а). По своим художественно-эстетическим качествам и техническим характеристикам данная группа сферических разбиений и производных звездчатых форм не уступает икосаэдральной.

Здесь выделяются звездчатые сферические разбиения (рисунки 80.5в,д и 81.5ж,и), а также структуры из одинаковых выпуклых четырехугольников (рисунки 80.5г и 81.5е,з), которые являются идентичными/родственными соответствующим разбивкам на основе сферической проекции икосаэдра (например, рисунки 74.1д,и и 75.1о-р).

Производные звездчатые многогранники представлены двумя типами: -из двадцати девятигранных пиков (рисунок 81, звезда 5в), -из двенадцати пятнадцатигранных пирамидальных отсеков (рисунок 81, звезда 5ж).

[В рамках додекаэдральной группы с использованием первого варианта алгоритма произведено построение двух сферических разбиений из 12 пятилучевых звездчатых многоугольников, очерченных криволинейными контурными линиями: рисунки 82.5,w и 82.5,s].

**6. Центральная сферическая проекция ромботриаконтаэдра** (рис.81.6а). Этот ромбический тридцатигранник служит исходным звеном для образования сферического разбиения из четырехлучевых многоугольников с зигзагообразным контуром (рисунок 81.6б) при использовании первого варианта алгоритма. На следующем этапе с применением второго варианта алгоритма произведено его модифицирование в двух геометрических вариантах (рисунки 81.6в-г). Представлен новый производный звездчатый многогранник из 30 четырехгранных пирамидальных пиков (рисунок 81, звезда 6а).

**7. Меридианная сферическая разбивка** (рисунок 82.7а). Эта группа в настоящей работе представлена двумя геометрическими вариантами сферических разбиений, основанных на преобразовании каждой меридианной линии (половины большого круга) в ломаную зигзагообразную (рисунки 82.7б-в). С точки зрения перспектив художественного и технического формотворчества данная группа является наименее интересной.

**8. Центральная сферическая проекция ромбододекаэдра** (рисунок 83.8а). Данная группа представлена двумя типами сферических разбиений: изображенное на рисунке 83.8б решение выполнено с использованием первого варианта алгоритма; на рисунке 83.8в представлена его модификация с применением операций второго варианта алгоритма.

Весьма выразительны производные звездчатые многогранники на основе вышеописанных разбиений: -из двенадцати четырехгранных пиков (рисунок 83, звезда 8а), -из двенадцати двенадцатигранных складчатых пирамидальных отсеков (рисунок 83, звезда 8б).

**9. Меридианно-экваториальная центральная сферическая проекция бипирамиды** (рисунок 83.9а). Модификации данной исходной сферической разбивки основаны на осевом поворотном смещении половинок сферы по экватору относительно друг друга (рисунок 83.9б). На втором этапе полученная

разбивка преобразуется путем модифицирования экваториальной линии в зигзагообразную (рисунки 83.9в-г).

Производный звездчатый многогранник этой группы, приведенный в работе, включает два яруса четырехгранных пиков, расположенных в шахматном порядке (рисунок 83, звезда 9в), количество которых определяется числом меридианных подразделений полной сферической поверхности» [336], [377].

## **2.8. Моделирование новых типов многогранных периодических поверхностей с ячеистой/складчатой структурой**

Среди всех типов объемных форм особое место занимают тонкостенные многогранные оболочки, имеющие ячеистую/складчатую регулярную/периодическую структуру и созданные на основе компоновки стандартных модульных блоков. Однако научные работы и патентные разработки, посвященные этой теме, например, [110], развивают формотворчество регулярных дискретных структур на основе весьма ограниченной номенклатуры модулей.

Цель настоящего раздела работы- более глубоко раскрыть формотворческий потенциал геометрического моделирования спектра новых регулярных дискретных поверхностей с ячеистой/складчатой периодической структурой на основе использования предложенного автором комплекса симметричных многогранных тонкостенных/оболочечных базовых модулей.

Предложенные базовые модули являются отсеками или частями каких-либо многогранных поверхностей либо сформированы соединением по кромкам граней, имеющих очертание элементарных многоугольников. Объемные типозлементы имеют плоский или пространственный многоугольный контур.

Комплекс некоторых базовых многогранных модулей, предложенных автором, в настоящей работе представлен 47 типами (рисунок 84).

*Геометрическое моделирование результирующих/производных ячеистых структур осуществляется с использованием двух принципиальных операционных схем/способов:*

*1) дискретным плоскопараллельным перемещением/трансляцией либо с поворотом какого-либо модуля до момента совмещения соответствующих контурных кромок (трансляционно-поворотная схема);*

2) по принципу «контррельефа»- дискретным перемещением модуля с периодическим его переворотом тыльной стороной по типу «скользящего отражения»/инверсией и последующей стыковкой соответствующих контурных кромок либо совмещением соответствующих граней (инверсионная схема).

В ряде случаев контур базовых модулей не обеспечивает получения непрерывной результирующей периодической поверхности при их контурной стыковке. Здесь в случае конструктивно-функциональной необходимости полученную инверсионным или трансляционным способом сквозную/решетчатую структуру дополняют соответствующими по форме многоугольниками или объемными фигурами.

В работе приведено описание основных разновидностей результирующих ячеистых периодических регулярных структур, образованных дискретным перемещением различных типов базовых многогранных модулей.

Так, родственные плоскостные регулярные ячеистые структуры (рисунок 85,а,в) образованы на основе базового модуля (тип 13), включающего шесть наклонных ромбических пластин, соединенных в центральной осевой вершине; при этом между каждой парой центральных ромбических пластин размещена контурная ромбовидная грань, свободные кромки которых образуют пространственный равносторонний двенадцатиугольник. В первом случае модули образуют результирующую форму путем их плоскопараллельного дискретного перемещения с соединением соответствующих контурных кромок. Во втором случае смежные модули обратной пространственной ориентации стыкуют с совмещением контурных ромбовидных граней; при этом вокруг одного перевернутого модуля расположено шесть исходных модулей, контурные ромбовидные грани которых пересекаются с образованием треугольных пластин.

Однако вторая из данных структур (рисунок 85,в) может быть получена также на основе базового модуля (тип 18), включающего шесть наклонных ромбических пластин, соединенных в центральной осевой вершине; при этом между каждой парой центральных ромбических пластин размещена контурная треугольная грань, свободные кромки которых образуют плоский правильный

шестиугольник. В данном случае кромки компланарных контурных треугольных граней у смежных исходных и перевернутых модулей стыкуются с образованием ромбических пластин.

Этот же базовый модуль только при плоскопараллельном перемещении образует регулярную структуру с шестиугольными ячейками (рисунок 85,б).

Непрерывная ячеистая структура (рисунок 85,г) получена с использованием трансляционно-поворотного способа на основе базового модуля (тип 29), включающего три наклонные ромбические пластины, соединенные в центральной вершине, между которыми расположены три равнобедренные треугольные грани.

На рисунке 85,д показана ячеистая структура, полученная инверсионным способом на основе базового модуля (тип 28), включающего центральную равностороннюю треугольную пластину, к которой по сторонам присоединены три наклонны квадрата, между смежными из которых расположены три контурные ромбические грани. В данном случае между тремя исходными модулями расположен один перевернутый, соединенный с ними по совмещенным контурным ромбам. Результирующая решетчатая структура получается сквозной, вследствие чего проемы заполнены гранями правильной шестиугольной конфигурации. Ячеистая структура, показанная на рисунке 85,е, образована инверсионным способом с использованием базового модуля в виде семигранной части усеченного октаэдра (тип 10). Здесь три исходных модуля окружают один перевернутый и соединяются с ним по совмещенным шестиугольным граням, при этом расположенные в срединной плоскости структуры проемы заполняются равносторонними шестиугольными панелями.

Трансляционная схема положена в основу моделирования плоскостной сплошной ячеистой структуры (рисунок 86,а) плоскопараллельным дискретным перемещением модуля (тип 19), включающего центральную правильную шестиугольную пластину, к которой по сторонам присоединены равнобедренные наклонные треугольники, смежные из которых объединены контурными ромбическими гранями.

Этот же модуль является базовым для образования структуры (рисунок 86,г) по инверсионной схеме, где каждый перевернутый модуль окружен шестью исходными модулями и соединен с ними по совмещенным контурным ромбическим граням. При этом смежные исходные модули структуры пересекаются друг с другом по контурным ромбическим граням.

Но одновременно вышеописанная периодическая структура может быть получена на основе родственного модуля с плоским равносторонним шестиугольным основанием (тип 11), где к центральной правильной шестиугольной пластине по сторонам присоединены равнобедренные наклонные треугольники, смежные из которых объединены контурными треугольными гранями. При этом смежные исходные и перевернутые модули стыкуются по кромкам компланарных контурных треугольников с образованием срединных ромбических граней. [Трансляционная схема использования данного базового модуля представлена производной ячеистой структурой (рисунок 86,б)].

Трансляционно-поворотная схема положена в основу моделирования очень привлекательной плоскостной сплошной ячеистой структуры (рисунок 86,д), образованной на основе базового модуля с равносторонним треугольным основанием (тип 9), включающего центральную трехлучевую звезду из наклонных остроугольных четырехугольников с попарно равными сторонами, между лучами которой расположены равнобедренные контурные треугольники. Этот же тип модуля образует ячеистую структуру, созданную по инверсионной схеме (рисунок 86,е), где смежные модули противоположной пространственной ориентации стыкуются по кромкам компланарных контурных треугольников, образуя срединные ромбические грани.

Периодическая ячеистая структура (рисунок 87,а) образована трансляцией базового модуля (тип 37), включающего три наклонные равносторонние треугольные пластины, присоединенные к центральному правильному треугольнику; при этом для образования сплошной структуры треугольные проемы между тремя состыкованными модулями закрыты треугольными гранями соответствующего очертания.

Ячеистая структура (рисунок 87,б) образована по инверсионной схеме базовыми модулями (тип 38), содержащими центральную равностороннюю треугольную пластину, к которой по сторонам присоединены три наклонных прямоугольные грани. Смежные модули противоположной ориентации соединены по совмещенным прямоугольникам; при этом между тремя модулями одинаковой ориентации образуются сквозные неплоские проемы, закрытые дополнительными меньшими модулями, каждый из которых включает центральную равностороннюю треугольную грань, к которой по сторонам присоединены три наклонных боковых треугольника.

Точно такие же меньшие модули закрывают неплоские проемы в ячеистых структурах (рисунки 87,в-г), образованных по трансляционной схеме базовыми модулями (типы 36 и 32 соответственно): первый включает три наклонные шестиугольные пластины, соединенные в центральной вершине; второй образован центральной равносторонней треугольной гранью, к которой по сторонам присоединены наклонные пятиугольные пластины, смежные из которых объединены равнобедренными треугольниками.

Выразительная ячеистая структура (рисунок 87,д) образована трансляцией базового модуля с квадратным основанием (тип 5), состоящего из четырех наклонных ромбовидных граней, состыкованных в центральной вершине с образованием четырехлучевой звезды, вершины которой зафиксированы в углах квадрата основания; при этом между смежными лучами расположены пары треугольных и трапециевидных пластин. Этот же модуль может образовывать родственную структуру (рисунок 87,е) по инверсионной схеме, где смежные модули противоположной ориентации состыкованы по кромкам компланарных трапеций с образованием срединных шестиугольных пластин.

Трансляция базовых модулей (типы 46 и 14), составленных соответственно из трех и шести наклонных четырехугольных пластин с попарно равными сторонами, состыкованных в центральной вершине, позволяет получить ячеистые структуры (рисунки 88,а-б), которые являются перевернутыми копиями друг друга.

Ячеистая структура (рисунок 88,в) получена трансляцией базового модуля (тип 30), состоящего из центральной правильной шестиугольной пластины, к которой по сторонам присоединены наклонные пятиугольные грани.

Родственные структуры (рисунки 88,г-е) получены на основе базового модуля (тип 4), имеющего правильное восьмиугольное плоское основание и составленного из четырех наклонных пятиугольных пластин, сходящихся в центральной вершине, между которыми размещены равнобедренные треугольные грани. Первая структура (рисунок 88,г) получена трансляцией модуля с последующим заполнением образовавшихся квадратных проемов между модулями пластинами соответствующей конфигурации. Две другие структуры образованы по инверсионной схеме перемещения модуля; причем в структуре (рисунок 88,д) модули обратной пространственной ориентации состыкованы по кромкам компланарных треугольных граней, образующих цельные серединные ромбы; а в структуре (рисунок 88,е) эти же модули стыкуются по кромкам компланарных пятиугольных граней с образованием удлиненных шестиугольных пластин. В данных двух случаях полученные структуры содержат сквозные проемы, которые заполняются квадратными дополнительными пластинами. [Следует отметить, что структура (рисунок 88,д) может быть также получена на основе базового модуля (тип 20), составленного из четырех наклонных пятиугольных пластин, сходящихся в центральной вершине, между которыми размещены ромбические грани].

Две родственные структуры (рисунки 89,а-б) получены на основе базового модуля с правильным шестиугольным плоским основанием (тип 27), составленного из трех наклонных пятиугольных пластин, сходящихся в центральной вершине, между которыми размещены равнобедренные треугольные грани. Первая структура образована трансляцией модуля; вторая же образована по инверсионной схеме, где модули обратной пространственной ориентации стыкуются по кромкам соответствующих компланарных треугольных и пятиугольных пластин с образованием цельных ромбов и продолговатых шестиугольных граней.

Три родственные структуры (рисунки 89,в-д) получены на основе базового модуля (тип 26), топологически идентичного вышеописанному, но не имеющего правильного шестиугольного основания. Трансляция такого модуля позволяет получить перфорированную структуру (рисунок 89,г) с треугольными сквозными проемами между смежными элементами. На основе инверсионной схемы получены структуры (рисунки 89,в,д), где модули обратной ориентации стыкуются по кромкам компланарных пятиугольных пластин с образованием удлиненных шестиугольных граней, а во втором случае- по кромкам компланарных треугольных граней с образованием срединных ромбов. При этом сквозные правильные шестиугольные проемы в полученных структурах могут быть закрыты пластинами соответствующего размера.

Структура (рисунок 89,е) получена с использованием инверсионной схемы на основе базового модуля, образованного центральной равнобедренной треугольной пластиной, к которой по боковым равным сторонам присоединены две параллелограмматические грани, а по торцевой стороне- шестиугольная. Здесь смежные модули обратной пространственной ориентации соединены путем совмещения параллелограмматических и шестиугольных граней.

Четыре родственные структуры (рисунки 90,а-г) образованы на основе базового модуля с правильным двенадцатиугольным основанием (тип 1), содержащего центральную правильную шестиугольную пластину, к которой по сторонам присоединены наклонные прямоугольники, между которыми расположены равнобедренные треугольные грани. Трансляция модуля позволяет получить два варианта структур, где модули стыкуются по кромкам треугольных или прямоугольных граней (рисунки 90,а-б), а сквозные проемы закрываются правильными треугольниками. Инверсионная схема позволяет получить также два типа структур, где модули обратной ориентации стыкуются по кромкам компланарных прямоугольных граней с получением удлиненных прямоугольников (рисунок 90,в), либо по кромкам компланарных треугольных пластин с образованием срединных ромбов (рисунок 90,г).

Структура (рисунок 90,д) образована инверсионным способом на основе базового модуля (тип 3), включающего центральную правильную восьмиу-

гольную грань, к которой по сторонам присоединены чередующиеся наклонные прямоугольные и трапециевидные пластины. Здесь модули предварительно составляются в продольные ряды и соединяются восьмиугольными складками; далее полученные многомодульные складчатые ряды обратной ориентации стыкуются друг с другом с совмещением боковых трапециевидных и прямоугольных пластин. Аналогичным образом (инверсией смежных многомодульных складчатых рядов с совмещением их боковых пластин) получена и структура (рисунок 90,е) на основе модуля (тип 23).

Базовый модуль с квадратным основанием и звездчатой четырехлучевой внутренней структурой (тип 7) позволяет получить ячеистые формы двух типов: трансляционным способом (рисунок 91,а) и по инверсионной схеме (рисунок 91,б), где смежные обратные модули стыкуются с образованием срединных ромбов. [Те же схемы формообразования присущи ячеистым формам (рисунки 92,г-д) на основе очень схожего по внутренней звездчатой четырехлучевой структуре базового модуля (тип 6)].

Четыре родственные структуры (рисунки 91,в-е) образованы на основе базового модуля с правильным двенадцатиугольным основанием (тип 2), содержащего шесть наклонных пятиугольных пластин, соединенных в центральной вершине, между которыми расположены равнобедренные треугольные грани. Трансляция модуля позволяет получить два варианта структур, где модули стыкуются по кромкам треугольных или пятиугольных граней (рисунки 91,г,в), а сквозные проемы закрываются правильными треугольниками. Инверсионная схема позволяет получить также два типа структур, где модули обратной ориентации стыкуются по кромкам компланарных пятиугольных граней с получением удлиненных шестиугольников (рисунок 91,е), либо по кромкам компланарных треугольных пластин с образованием ромбов (рисунок 91,д).

Три родственные структуры (рисунки 92,а-в) получены на основе базового модуля с правильным двенадцатиугольным основанием (тип 15), имеющего аналогичную по форме центральную грань, к которой по сторонам присоединены наклонные чередующиеся трапециевидные и прямоугольные пластины. Трансляция данного модуля позволяет получить перфорированные

ячеистые структуры двух типов (рисунки 92,а-б) с треугольными сквозными проемами между смежными элементами. На основе инверсионной схемы получена структура (рисунок 92,в), где модули обратной ориентации стыкуются по кромкам компланарных трапециевидных пластин с образованием шестиугольных срединных граней.

Две родственные ячеистые структуры (рисунки 93,а-б) получены на основе базового модуля с правильным шестиугольным плоским основанием (тип 35), представляющего собой половину поверхности кубооктаэдра. Первая из них образована трансляцией модуля; вторая же образована по инверсионной схеме, где смежные модули обратной пространственной ориентации стыкуются по кромкам соответствующих компланарных треугольных и квадратных пластин с образованием ромбов и продолговатых прямоугольных граней.

Плоскостная ячеистая структура (рисунок 93,в) получена трансляцией базового модуля (тип 21), образованного двумя наклонными шестиугольными гранями между которыми с двух сторон размещены ромбы. Полученная структура способна формировать пирамидальную оболочку (рисунок 93,г).

Трансляция модуля (тип 33), представляющего собой диагональное усечение ромбокубооктаэдра, позволяет получить перфорированную структуру (рисунок 93,д), сквозные проемы в которой закрыты равносторонними треугольниками.

Трансляция модуля (тип 40), представляющего собой двухстороннее параллельное усечение квадратной пирамиды, позволяет создать складчатую трансформируемую поверхность зигзагообразного профиля (рисунок 93,е).

Ячеистая поверхность (рисунок 94,а) образована трансляционным перемещением базового модуля с правильным плоским восьмиугольным основанием (тип 12), представляющего собой «чашу» ромбокубооктаэдра.

Модифицированные разновидности этой «чаши» с присоединенными к ее треугольным граням ромбовидными складками (типы 42-43) являются базовыми модулями складчатых структур (рисунки 94,б-г), образованных с использованием трансляционно-поворотной и инверсионной схем моделирования.

Складчатая структура (рисунок 94,д) получена инверсионным способом на основе базового модуля (тип 22), включающего центральную квадратную пластину, к которой по сторонам присоединены аналогичные наклонные квадраты, между которыми размещены угловые ромбические грани.

Базовый модуль (тип 41), включающий центральную равностороннюю треугольную грань, к которой по сторонам присоединены наклонные квадраты, между которыми расположены ромбовидные складки из треугольников, позволяет получить трансляционным способом ячеистую структуру (рисунок 94,е) с последующим заполнением треугольных проемов. На основе представленных базовых модулей (рисунок 84) также возможно образование складчатых/ячеистых структур сводчатой и куполообразной конфигурации.

Наряду с вышеописанными типами тонкостенных дискретных структур, имеющих регулярную периодическую поверхность, представляют большой практический интерес *ступенчатые структуры*- их регулярная складчатая поверхность образована ступенчатым расположением односторонних призматических модулей, поперечное сечение которых допускает их плотнейшую пространственную взаимную стыковку, т.е. является одним из видов изоэдральных разбиений плоскости. Приведенные в работе некоторые компьютерные модели ступенчатых структур (рисунки 95-96) содержат призматические модули с различной конфигурацией поперечного сечения (трех- и четырехлучевой, Т-,Н-образной и др.). Возможно создание сплошных и решетчатых ступенчатых структур плоскостного, сводчатого и пирамидального/куполообразного типа, а также в виде форм сложной произвольной конфигурации, которые легко генерируются алгоритмами вариативного параметрического моделирования.

### **Выводы по 2 главе**

1. Предложена общая теория плотнейшего заполнения трехмерного пространства равными и конечными по величине многогранниками, которая служит фундаментальной платформой для проведения перспективных системных научных исследований.

Представлена номенклатура элементов заполнения пространства в виде «слоев/плит», «стержней/пилонов», «капсул», «брусков», «полос/лент», со-

ставленных из *выпуклых* базовых многогранных модулей. Определены основные условия/ограничения геометрического конструирования и модифицирования их структуры. Исследованы компоновочные возможности конгломератов из правильных и полуправильных многогранников в контексте образования плотноупакованных пространственных структур.

Определены возможности операций кристаллических многогранных усечений и неоднородной деформации выпуклых базовых модулей для получения новых форм многогранников плотнейшего пространственного заполнения.

Предложена операционная схема последовательного зеркального подразделения исходных выпуклых базовых модулей, позволяющая получить новые типы многогранных отсеков, способных образовывать самостоятельные комбинаторно неизоморфные плотнейшие составные структуры. Определены условия создания *невыпуклых* многогранных модулей плотнейшего заполнения пространства путем присоединения к базовым выпуклым модулям дополнительных призматических и пирамидальных элементов.

Представлен основной *алгоритм* образования составных кристаллических слоев из одинаковых симметричных невыпуклых модулей по четырехугольной и триангуляционной схемам их соосной стыковки. Определены условия плотнейшей стыковки смежных кристаллических слоев.

2. Впервые изложена общая методика получения многогранных модулей плотнейшего пространственного заполнения, содержащих *линейчатые поверхностные включения* (цельные отсеки или составные линейчатые группы). Приведены пять основных схем/способов получения новых модулей подобного типа; также изложены основные ограничения и условия, которые необходимо учитывать в процессе геометрического конструирования их формы.

Данная работа является первым системным трудом, где сформулированы основы моделирования таких модулей, практически неизвестных в сфере современного дизайна. Дальнейшее углубленное исследование проблемы позволит открыть новые способы геометрического формообразования данных регулярных дискретных структур, имеющих большие практические перспек-

тивы в различных областях современного дизайна а, следовательно, существенно расширить его инструментальную базу.

3. Впервые введено в научный оборот новое понятие- *линейчатые квазимногогранники*, - определяющее новый тип неизвестных ранее пространственных форм- замкнутых составных дискретных оболочек с центрической регулярной структурой, образованных состыкованными по кромкам отсеками линейчатых поверхностей (в т.ч. одинаковыми/зеркально равными).

Впервые описаны характерные особенности построения их структуры-пространственной компоновки из сборных объемных модулей. На данной основе получены новые типы центрических квазимногогранных структур, составленных из одинаковых/зеркально равных отсеков гиперболического параболоида и коноида. Отработана технология компьютерного моделирования и визуализации новых регулярных структур этого морфологического типа.

Системно изложены одиннадцать предложенных *алгоритмов* структурного формообразования линейчатых квазимногогранников. Установлено, что в настоящее время их формообразующий потенциал не поддается точной количественной оценке. Поэтому графически отобразить всевозможные варианты/разновидности вышеописанных форм в настоящем исследовании и ближайшей перспективе не представляется реальным.

С использованием данных способов автором получен широкий спектр оригинальных форм, представленных в работе и имеющих большие перспективы практического применения в различных сферах дизайна.

Обозначен дальнейший потенциал развития этого направления- создание спектра комбинированных структур (получаемых при комплексном/одновременном использовании ряда вышеописанных способов). Также подлежат детальному изучению еще неисследованные способы, с помощью которых могут создаваться новые типы линейчатых квазимногогранников.

Установлено, что некоторые из вышеописанных способов пересекаются (возможно получение формы какого-либо результирующего квазимногогранника различными независимо используемыми способами).

Проведенная научно-поисковая работа позволяет констатировать три положительные черты, определяющие высокую технико-экономическую эффективность предложенных линейчатых квазимногогранников по сравнению с известными плоскогранными многогранниками: -существенно повышается жесткость результирующих линейчатых структур; -уменьшается площадь их поверхности, что в итоге определяет сокращение материалоемкости и теплопотерь; -в ряде случаев существенно увеличивается внутренний полезный объем.

4. Впервые введены в научный оборот новые морфологические понятия - *фрактально-ступенчатые* и *фрактально-решетчатые псевдомногогранники*, - определяющие новые типы пространственных систем, имеющих форму замкнутых структур, поверхность которых образована пространственными модулями, состыкованными по принципу компоновки правильных и полуправильных классических многогранников, имеющими правильное многоугольное контурное очертание и фрактально-ступенчатую или фрактально-решетчатую внутреннюю структуру. Определены способы получения модулей таких структур, приведены их результирующие составные оригинальные формы.

5. Впервые разработаны компьютерные модели созданных в результате теоретических и экспериментально-поисковых исследований новых типов *сферических изоэдральных разбиений*, а также производных *звездчатых и сотовых многогранников* на их основе.

Сформулирован основной алгоритм формотворческой технологии образования изоэдральных сферических разбиений, который заключается в создании вариативных дополнительных подразделений исходных разбиений - центральных проекций равноэлементных многогранников на поверхность сферы. Определены три основных варианта его использования. Установлено, что некоторые решения сферических изоэдральных разбиений, созданные на основе различных исходных центральных сферических проекций и с использованием разных вариантов основного алгоритма, являются абсолютно идентичными/пересекаются. Следовательно, также являются аналогичными и производные звездчатые многогранники на их основе. Также установлено, что изоэдральные сферические разбиения из многоугольников с криволинейным контуром, уча-

стки которого не являются геодезическими, могут являться исходными для образования звездчатых и сотовых объемных фигур, но только состоящих из *конических* остроугольных пиков или их усечений.

6. В работе впервые освещена проблема создания многоэлементных регулярных *решетчатых, стержневых и разветвленных мегаструктур* на основе пространственной компоновки трех классических многогранников- *икосаэдра, додекаэдра и ромбоикосододекаэдра*, - а также их составных частей.

Исключительная трудоемкость проведения экспериментально-поисковых работ по трехмерному компьютерному моделированию и объемному макетированию многозвенных пространственных объектов обусловила частичное открытие закономерностей вариативного геометрического конструирования составных многокомпонентных мегаструктур и вскрытие их формотворческого потенциала на основе лишь этих трех базовых модулей.

[Дальнейшие исследования позволят установить комбинаторные возможности других шести типов классических полуправильных многогранников Архимеда- усеченного тетраэдра, усеченного октаэдра, усеченного икосаэдра, ромбоусеченного кубооктаэдра, ромбокубооктаэдра и икосододекаэдра].

В процессе экспериментально-поисковых исследований установлены основные операционные ограничения/условия компоновочного моделирования составных однослойных и трубчатых пространственных мегаструктур различного очертания. Созданные в ходе геометрического конструирования многогранные мегаструктуры получены и описаны автором впервые и неизвестны в сфере современного дизайна.

7. Введение новых типов эффективных пространственных структур, описанных в главе, как в научный оборот так и сферу практического творческого конструирования раскрывает перед дизайнерами новые возможности художественно-эстетического и технического формообразования объектов широкой функционально-типологической номенклатуры, тем самым генерируя новый мощный творческий импульс развития технической эстетики как научной и проектно-творческой сферы нашей жизни.

### ГЛАВА 3.

#### **Перспективы практического использования полученных регулярных дискретных структур в различных сферах дизайна**

Создание новых выразительных средств формообразования в дизайне с целью улучшения технических качеств и художественно-эстетического облика объектов- самый действенный формотворческий *инструмент*, благодаря которому техническая эстетика сегодня предстает в качестве социально, культурно и технически значимой области жизнедеятельности.

Изобретение и использование собственной оригинальной научно-творческой фундаментальной основы формообразования- прямой путь к созданию весьма обширного комплекса конструктивных дизайнерских решений новых регулярных дискретных структур, способных кардинально повлиять на формирование и развитие стилистических художественных концепций, отражающих культурно-эстетические запросы общества будущего.

В настоящее время данное направление приобретает особую актуальность: стремительное развитие промышленных технологий вкупе с появлением новых строительных материалов позволяет практически осуществлять формы с недостижимым ранее художественно-эстетическим потенциалом при одновременном улучшении их технико-экономических характеристик.

Вместе с тем необходимо констатировать- инертность широко распространенных традиционных методов/приемов архитектурно-дизайнерского проектирования значительной степени препятствует использованию нового инструментария формотворчества (особенно в сфере дизайна фасадов и интерьеров уникальных зданий и сооружений), который является сильной альтернативой привычным и отработанным подходам.

Отсутствие путей решения данной проблемы на долгие годы обусловило заметное отставание нашей страны в развитии таких актуальных отраслей дизайна, как быстровозводимые орбитальные жилые сооружения в околоземном космосе, трансформируемые сооружения в зонах стихийных бедствий, укрытия экологически вредных производств, мобильные спортивные комплексы и жилье в осваиваемых районах газовых и нефтяных месторождений, современ-

ные промышленные сооружения и др.

В настоящее время наметились некоторые перспективы в продвижении дизайнерских разработок в пока еще непривычной для широкого круга профессионалов стратегической сфере освоения околоземного космоса.

Актуальность таких объектов, как *регулярные дискретные структуры*, в контексте развития мирового зодчества и дизайна обусловлена чрезвычайно редким и ценным сочетанием объективных достоинств, которые им присущи: несомненные художественно-эстетические качества (развитая конструктивная и декоративно-скульптурная пластика, выразительный силуэт) и техническая эффективность (малая масса и материалоемкость при значительных пролетах, высокая несущая способность и жесткость при малой толщине; -значительная скорость и технологичность возведения при высоком качестве монтажа; -повышенные звуко рассеивающие качества; -способность к обратимой трансформации и максимально высокая степень пакетируемости).

Это стимулирует появление высокотехнологичных дизайнерских разработок новых регулярных дискретных структур, техническая эффективность которых позволяет использовать их в различных сферах промышленности и общественной жизни.

В русле направления «Формотворческий дизайн регулярных дискретных структур» создано множество оригинальных технически эффективных и художественно выразительных изобретательских разработок, запатентованных в разных странах. В настоящей работе автором сделана специальная подборка наиболее значительных *патентных решений различных объектов дизайна и архитектуры*, созданных с использованием обозначенных в работе методов регулярного структурного формообразования и наглядно отражающих перспективы эффективного практического применения передовых открытий морфологии в сфере двух родственных профессий. [Как правило, патентные источники различных стран в диссертационных исследованиях либо не рассматриваются вообще, либо представлены крайне скудно]. Прежде всего необходимо выделить группу патентных решений складчатых оболочек или их элементов/фрагментов, формы которых имеют *плоскую листовую развертку/*

*трансформируются из плоскости:* [127], [129]-[131], [134], [137]-[138], [141], [144]-[146], [149]-[151], [155]-[156], [158]-[160], [163]-[164], [166]-[174], [176]-[177], [179]-[180], [183], [187]-[189], [191], [195], [198], [202], [204], [208], [211]-[212], [214]-[216], [218]-[221], [223], [226], [229], [231], [234], [236], [239], [241]-[245], [247], [249], [251].

Формы и конструкции покрытий, ограждений, а также элементов сооружений (плоскостные, сводчатые, куполообразные, сложно изогнутые и комбинированные/пластинчато-стержневые) с использованием составляющих элементов в виде *отсеков плоских, плоскогранных и неплоских разворачиваемых поверхностей* представлены работами [126], [128], [139], [178], [182], [184], [196], [200]-[201], [213], [217], [227], [246].

Формы и конструкции покрытий, ограждений, а также элементов сооружений (плоскостные, сводчатые, куполообразные, сложно изогнутые и комбинированные/пластинчато-стержневые) с использованием составляющих элементов в виде *отсеков линейчатых поверхностей- гипара, коноида, однополостного гиперболоида, цилиндроида, геликоида-* представлены разработками [132]-[133], [136], [140], [142], [147]-[148], [154], [157], [162], [165], [181], [185]-[186], [190], [192]-[194], [197], [203], [205]-[207], [209]-[210], [222], [224]-[225], [228], [230], [232]-[233], [235], [237]-[238], [240], [248].

Формы и конструкции покрытий, ограждений (плоскостные, сводчатые, куполообразные, сложно изогнутые), имеющие *сквозную решетчатую структуру*, представлены разработками [152], [175], [199], [250].

Данные решения послужили прототипами представленных ниже авторских технически эффективных практических разработок [346]-[376].

### **3.1. Космические орбитальные и напланетные комплексы как объекты современного дизайна**

*Оболочки орбитальных жилых модульных комплексов в околоземном космосе.* Сегодня это одна из приоритетных, наиболее значимых сфер дизайна, где использование эффективных регулярных дискретных структур, в т.ч. обладающих свойством переменных плотнейших модульных пространственных компоновок, особенно востребовано.

**1. Многоблочные комбинаторные структуры.** *Комплекс обязательных условий геометрической комбинаторики функционально эффективных много-модульных структур.* Новые многогранные конгломераты должны:

-обладать высокой степенью *комбинаторной вариабельности*- способности образовывать *многообразные по очертанию пространственные формы* при вариативном соединении типовых блоков (включая способность к дальнейшему пространственному развитию в различных необходимых направлениях (в случае возникновения такой потребности));

-обладать свойством плотнейшей пространственной компоновки составляющих объемных блоков-модулей (т.е. обладать качеством *компактности* а, следовательно, минимальным энергорасходом);

-иметь возможность быстрого отсоединения контурных блоков при аварийных и нештатных ситуациях.

Автором предложены решения орбитальных модульных жилых комплексов, имеющих общее очертание октаэдральной бипирамиды или куба и составленных из типовых многогранных блоков на основе усеченного октаэдра (рисунок 100,а), а также ромбокубооктаэдра (рисунки 100,б и 102,а)- данные базовые многогранники при их соответствующей пространственной компоновке удовлетворяют всем вышеперечисленным условиям.

Предложенные принципиальные решения многомодульных оболочек актуальны при разработке проектов геолого-разведывательных и производственных комплексов на поверхности Луны (рисунок 103).

Автором предложен ***общий морфологический алгоритм*** геометрического конструирования составляющего многогранного модуля многокомпонентных плотнейших составных структур с высокой степенью комбинаторной вариабельности, который заключается в выборе формы *базового выпуклого многогранного блока, к которому присоединяются дополнительные боковые или торцевые многогранные элементы, служащие звеньями стыковки и иллюзовыми блоками при переходе из одного модуля в другой.* При этом в качестве боковых или торцевых многогранных элементов, присоединяемых к базовому выпуклому многогранному блоку, фигурируют *прямые призмы или пирамиды.*

Так, на рисунке 101,б показан орбитальный комплекс, плотнейшая пространственная многокомпонентная структура которого имеет общую октаэдральную конфигурацию и составлена из одинаковых модулей, базовые многогранные блоки которых имеют форму ромбоусеченного кубооктаэдра; при этом в каждом из модулей ко всем шести восьмиугольным граням базового многогранного блока присоединены одинаковые прямые призмы (шлюзовые блоки) с соответствующим восьмиугольным основанием.

В рамках данного формотворческого направления автором предложен ряд следующих патентных решений.

**Патент 204596 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). - № 2021106509; Заявл. 12.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.** Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение функциональной эффективности формы модуля за счет расширения комбинаторных возможностей образования переменных пространственных составных структур разного очертания. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, данный многогранник выполнен в виде основного многогранного блока (рисунок 41.12), содержащего два зеркально симметричных противоположащих складчатых шестигранных элемента, каждый из которых включает пару наклонных друг к другу одинаковых центральных прямоугольных граней, состыкованных с образованием выступающего центрального ребра и к которым по боковым кромкам присоединены две пары одинаковых граней формы параллелограмма; при этом к обоим шестигранным элементам по кромкам присоединены четыре срединных симметричных восьмиугольных и равнобедренных шестиугольных грани, чередующихся друг с другом; причем к противоположащим боковым шестиугольным граням основного многогранного блока присоединены боковые прямые призмы с соответствующим шестиугольным основанием, суммарная высота которых составляет длину выступающего центрального ребра стыковки прямоугольных граней. На рисунке 42,тип 15- общий вид модуля плотнейшей структуры. На рисунке 46,тип 15

изображен фрагмент плотнейшей составной многомодульной структуры на его основе.

**Патент 204649 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). - № 2021106843; Заявл. 16.03.21; Оpubл. 02.06.21; Бюл. № 16.** Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение функциональной эффективности формы модуля за счет расширения комбинаторных возможностей образования переменных пространственных составных структур различного очертания. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, данный многогранник выполнен в виде основного многогранного блока (рисунок 41.10), содержащего два зеркально симметричных соединенных по кромкам девятигранных элемента, каждый из которых включает центральную восьмиугольную грань, к которой по кромкам присоединены чередующиеся наклонные четырехугольные и равнобедренные трапециевидальные грани; при этом к двум противоположным парам равнобедренных трапециевидальных граней блока по его продольной оси присоединены прямые призматические отсеки с равнобедренными шестиугольными основаниями; причем у каждого из призматических отсеков по две противоположные прямоугольные грани пристыкованы к сторонам соответствующих восьмиугольных граней основного многогранного блока и компланарны с ними, а между данными прямоугольными гранями размещены пары равных граней в форме прямоугольных трапеций, каждая из которых равна половине боковой равнобедренной трапециевидальной грани основного многогранного блока.

На рисунке 42, тип 18 общий вид модуля плотнейшей структуры. На рисунке 46, тип 18 изображен фрагмент плотнейшей составной многомодульной структуры на его основе.

**Патент 204597 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). - № 2021106814; Заявл. 16.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.** Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение функциональной эффективности формы модуля за счет расширения комбинаторных возможностей образования переменных

пространственных составных структур разного очертания. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, данный многогранник выполнен в виде основного многогранного блока (рисунок 41.9), содержащего два зеркально симметричных соединенных по кромкам девятигранных элемента, каждый из которых включает центральную шестиугольную грань, к которой по противоположащим параллельным кромкам присоединены наклонные равнобедренные трапециевидальные грани, а к парам других смежных кромок присоединены наклонные четырехугольные грани, между которыми размещены равнобедренные треугольные грани; при этом к двум противоположащим парам равнобедренных треугольных граней блока по его продольной оси присоединены прямые призматические отсеки с равносторонними четырехугольными основаниями; причем у каждого из призматических отсеков по два противоположащих продольных ребра пристыкованы к вершинам соответствующих шестиугольных граней основного многогранного блока и компланарны с ними, а боковые грани отсеков выполнены в форме прямоугольных трапеций, каждая из которых равна половине продольной равнобедренной трапециевидальной грани основного многогранного блока.

На рисунке 42, тип 17- общий вид модуля плотнейшей структуры. На рисунке 46, тип 17 изображен фрагмент плотнейшей составной многомодульной структуры на его основе.

**Патент 204598 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). - № 2021106845; Заявл. 16.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.** Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение функциональной эффективности формы модуля за счет расширения комбинаторных возможностей образования переменных пространственных составных структур разного очертания. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, данный многогранник выполнен в виде основного многогранного блока (рисунок 41.11), содержащего два зеркально симметричных соединенных по кромкам девятигранных элемента, каждый из которых

включает центральную квадратную грань, к которой по кромкам присоединены наклонные прямоугольные грани, между которыми размещены равнобедренные треугольные грани; при этом к четырем равнобедренным треугольным граням одного из девятигранных элементов присоединены одинаковые трехгранные пирамиды, у каждой из которых одна равнобедренная треугольная грань перпендикулярна плоскости центральной квадратной грани, а две других ее грани выполнены в форме одинаковых прямоугольных треугольников, состыкованных по ребру, компланарному с центральной квадратной гранью и соединенному с ее соответствующей вершиной.

На рисунке 42, тип 10- общий вид модуля плотнейшей структуры. На рисунке 45, тип 10 изображен фрагмент плотнейшей составной многомодульной структуры на его основе.

**Патент 204600 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). - № 2021106846; Заявл. 16.03.21; Опубл. 01.06.21; Бюл. № 16.** Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение функциональной эффективности формы модуля за счет расширения комбинаторных возможностей образования переменных пространственных составных структур разного очертания. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, данный многогранник выполнен в виде основного многогранного блока (рисунок 41.7), составленного из двух соосных зеркально симметричных семигранных элементов, соединенных по кромкам оснований с образованием срединного шестиугольного ребра, где каждый из элементов включает центральную правильную треугольную грань, к которой по кромкам присоединены наклонные прямоугольные грани, между которыми размещены боковые равнобедренные треугольные грани; при этом к трем парам боковых равнобедренных треугольных граней обоих семигранных элементов присоединены одинаковые выпуклые шестигранные элементы из зеркально симметричных пар треугольных граней; причем центральная пара каждого шестигранного элемента образована прямоугольными треугольниками, состыкованными по катетам под углом  $120^{\circ}$  друг к другу с образованием углового ребра, перпен-

дикулярного плоскости срединного шестиугольного ребра основного многогранного блока, а их противоположные вершины состыкованы с близлежащими вершинами срединного шестиугольного ребра; при этом одна из вершин углового ребра компланарна с соответствующей центральной треугольной гранью одного из семигранных элементов и соединена радиальным ребром с ее близлежащей вершиной, а другая вершина углового ребра компланарна с плоскостью срединного шестиугольного ребра основного многогранного блока и соединена ребром с близлежащей вершиной соответствующей центральной треугольной грани противоположащего семигранного элемента.

На рисунке 42, тип 19- общий вид модуля плотнейшей структуры. На рисунке 46, тип 19 изображен фрагмент плотнейшей составной многомодульной структуры на его основе.

**Модуль плотнейшей структуры (заявка № 2022100382 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение функциональной эффективности формы модуля за счет создания в его структуре специальных стыковочных блоков, а также расширения комбинаторных возможностей образования переменных пространственных составных структур разного очертания. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, данный многогранник выполнен в виде основного многогранного блока (рисунок 41.11), содержащего два зеркально симметричных соединенных по кромкам девятигранных элемента, каждый из которых включает центральную равностороннюю четырехугольную грань, к которой по кромкам присоединены наклонные четырехугольные грани, между которыми размещены равнобедренные треугольные грани; при этом к двум противоположащим парам равнобедренных треугольных граней девятигранных элементов присоединены прямые призматические отсеки с равносторонними четырехугольными основаниями; причем у каждого из отсеков пары боковых граней в форме прямоугольного треугольника состыкованы с образованием двух противоположащих параллельных ребер, соединенных с соответствующими вершинами

обоих центральных равносторонних четырехугольных граней и компланарных с последними.

На рисунке 42, тип 11- общий вид модуля плотнейшей структуры. На рисунке 45, тип 11 изображен фрагмент плотнейшей составной многоэлементной структуры на его основе.

**Модуль плотнейшей структуры (заявка № 2022100383 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение функциональной эффективности формы модуля за счет создания в его структуре специальных стыковочных блоков, а также расширения комбинаторных возможностей образования переменных пространственных составных структур разного очертания. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, данный многогранник выполнен в виде основного многогранного блока (рисунок 41.9), содержащего два зеркально симметричных соединенных по кромкам девятигранных элемента, каждый из которых включает центральную шестиугольную грань, к которой по параллельным противоположным кромкам присоединены наклонные равнобедренные трапециевидальные грани, а к парам других смежных кромок присоединены наклонные четырехугольные грани, между которыми размещены боковые равнобедренные треугольные грани; при этом к двум противоположащим парам равнобедренных трапециевидальных граней блока присоединены прямые призматические отсеки с равнобедренными шестиугольными основаниями; причем у каждого из призматических отсеков по две противоположащих прямоугольных грани пристыкованы к сторонам соответствующих центральных шестиугольных граней основного многогранного блока и компланарны с ними, а боковые грани отсеков выполнены в форме прямоугольных треугольников, каждый из которых равен половине боковой равнобедренной треугольной грани основного многогранного блока.

На рисунке 42, тип 14- общий вид модуля плотнейшей структуры. На рисунке 46, тип 14 изображен фрагмент плотнейшей составной многоэлементной структуры на его основе.

**Модуль плотнейшей структуры (заявка № 2022100385 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение функциональной эффективности формы модуля за счет создания в его структуре специальных стыковочных отсеков, а также расширения комбинаторных возможностей образования переменных пространственных сборных структур разного очертания. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, данный многогранник выполнен в виде основного многогранного блока (рисунок 8,и), содержащего два соосных зеркально симметричных торцевых семигранных элемента с плоскими шестиугольными основаниями, каждый из которых включает центральную правильную треугольную грань, к которой по кромкам присоединены наклонные прямоугольные грани, между которыми размещены равнобедренные треугольные грани; при этом к основаниям обоих торцевых семигранных элементов по кромкам присоединены шесть срединных прямоугольных граней; причем к трем группам граней основного многогранного блока, составленным из двух равнобедренных треугольных граней семигранных элементов и расположенной между ними срединной прямоугольной грани, присоединены одинаковые выпуклые шестигранные элементы из зеркально симметричных пар треугольных и трапециевидальных граней; причем центральная пара каждого шестигранного элемента образована прямоугольными трапециями, состыкованными по большим основаниям под углом  $120^{\circ}$  друг к другу с образованием углового ребра, параллельного продольной оси многогранного блока, где одна из вершин углового ребра компланарна с центральной треугольной гранью одного из семигранных элементов и соединена радиальным ребром с ее близлежащей вершиной, а два параллельных ребра- малые основания трапеций- соединены с продольными кромками соответствующей срединной прямоугольной грани; при этом дру-

гая вершина углового ребра компланарна с плоскостью шестиугольного основания противоположащего семигранного элемента и соединена ребром с соответствующей близлежащей вершиной его центральной треугольной грани; причем к центральным правильным треугольным граням торцевых семигранных элементов по продольной оси основного многогранного блока присоединены дополнительные призматические отсеки.

В модуле плотнейшей структуры к центральной правильной треугольной грани одного из торцевых семигранных элементов может быть присоединен дополнительный прямой призматический отсек с соответствующим треугольным основанием; при этом высота отсека соответствует длине продольной кромки серединной прямоугольной грани.

В модуле плотнейшей структуры к центральным правильным треугольным граням обоих торцевых семигранных элементов могут быть присоединены дополнительные прямые призматические отсеки с соответствующим треугольным основанием; при этом их суммарная высота соответствует длине продольной кромки серединной прямоугольной грани.

На рисунке 130,д- общий вид модуля плотнейшей структуры с двумя присоединенными призматическими отсеками. На рисунке 130,е- фрагмент плотнейшей составной многоэлементной структуры на его основе.

**Модуль плотнейшей структуры (заявка № 2022100380 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение надежности работы модуля при сложном комбинированном нагружении путем увеличения местной жесткости его торцевых участков. Он достигается тем, что в модуле плотнейшей структуры, имеющем общую конфигурацию замкнутого многогранника, выполненного в виде основного усеченного призматического блока, к которому с противоположащих сторон присоединены два торцевых блока, центральные вершины которых расположены на продольной оси основного призматического блока и ориентированы в противоположные стороны; причем оба торцевых блока образованы одинаковыми четырехугольными элементами, у каждого из которых по две смежные

равные прямолинейные кромки являются торцевыми сторонами боковых граней основного призматического блока, а две другие смежные равные прямолинейные кромки состыкованы в центральной вершине соответствующего торцевого блока, элементы обоих торцевых блоков выполнены в виде одинаковых линейчатых оболочек двойкой отрицательной кривизны; при этом оболочки одного торцевого блока выполнены перевернутыми относительно оболочек противоположащего торцевого блока.

В модуле плотнейшей структуры основной усеченный призматический блок может иметь поперечное сечение в виде правильного шестиугольника; при этом каждый из противоположащих торцевых блоков модуля составлен из трех оболочек двойкой кривизны (рисунок 130,а). На рисунке 130,б- фрагмент плотнейшей составной многоэлементной структуры на его основе.

В модуле плотнейшей структуры основной усеченный призматический блок может иметь поперечное сечение в виде квадрата; при этом каждый из противоположащих торцевых блоков модуля составлен из четырех оболочек двойкой кривизны (рисунок 130,в). На рисунке 130,г- фрагмент плотнейшей составной многоэлементной структуры на его основе.

[Описанные выше пространственные конструктивные модули также могут эффективно использоваться в наземном строительстве в качестве полносборных жилых блоков поселений на труднодоступных территориях и в зонах экстремальных природно-климатических условий].

**2. Многозвенные/ценные структуры.** Актуальное направление формирования орбитальных космических комплексов- вариативная модульная компоновка сооружения с образованием составных линейных, разветвленных или кольцеобразных многозвенных структур (на рисунке 102,б показаны варианты таких конгломератов на основе многогранных модулей в виде различных отсеков ромбоикосододекаэдра).

Возможно получение сложных сетевых структур замкнутого трубчатого и сферообразного очертания на основе других правильных и полуправильных базовых многогранников типа додекаэдра или икосаэдра, а также их составных частей (см. рисунки 48-53).

### 3.2. Объекты современного дизайна с трансформируемой складчатой структурой

Объекты данного типа имеют складчатую структуру, обладающую возможностью обратимой кинематической трансформации, например, для периодического плотнейшего пакетирования с целью повышения транспортабельности. Следовательно, операция быстрого *развертывания* с возможностью последующего быстрого *складывания* является основной функциональной качественной характеристикой таких систем; при этом чем более компактной/плотной будет упаковка объекта в сравнении с его состоянием в полностью развернутом виде (т.е. чем выше *степень пакетируемости*), тем трансформируемое изделие будет обладать большей технической эффективностью. Функциональная эффективность трансформируемого изделия резко повышается, если оно будет обладать еще одним свойством- возможностью *максимально разнообразного, многократного кинематического преобразования своей формы*.

[Исключительная сложность проведения экспериментально-поисковых исследований в сфере трансформируемых оболочек обуславливается *приоритетным использованием макетирования в качестве методологического инструмента* с последующим испытанием собранных объемных моделей (в данной связи следует категорически отметить- компьютерные графические построения и 3d-модели принципиально неприемлемы для тестирования изображений на предмет определения возможности эффективной обратимой физической трансформации объекта)].

В диссертации рассмотрены три группы трансформируемых изделий со складчатой структурой, сегодня и в перспективе имеющих особую практическую актуальность: 1) конструкции, имеющие полностью замкнутую или открытую с торцов сквозную *трубчатую оболочку*; 2) конструкции, имеющие частично или полностью замкнутую оболочку типа *многогранника*; 3) конструкции, имеющие радиальное/веерообразное очертание.

**1. Трансформируемые трубчатые конструкции** (*шлюзы для выхода космонавтов на околоземную орбиту, а также переходные галереи из одного жилого отсека в другой; наземные сооружения: соединительные пешеходные и эвакуационные галереи, покрытия вертикальных буровых установок, быст-*

*ровозводимые укрытия типа палаток; экспозиционные стенды и рекламные модули; светильники; развивающие конструкторы, игрушки и др.).*

Проблема трансформации сквозных и полностью замкнутых трубчатых систем из складчатых элементов заключается в том, что трубчатые объемы при их складывании/развертывании вдоль оси существенно изменяют свой диаметр, что приводит к разрыву гибких связей между элементами, их деформации и последующему разрушению конструкции в целом. Известные системы в виде труб из кольцевых конических складок позволяют осуществлять продольную обратимую трансформацию объема за счет упругой деформации складок, однако степень их пакетируемости (отношение длины развернутого сооружения к толщине сложенного пакета) является невысокой. При этом весьма проблематичной выглядит возможность их многократной обратимой трансформации, что является большим функционально-эксплуатационным недостатком.

Трансформируемые/гибкие конструктивные структуры, предложенные автором, основаны на двух принципиально различных концепциях процесса трансформации.

**Первая концепция** конструкции предусматривает использование принципа *спирально-осевой трансформации (закручивание с одновременным поступательным перемещением вдоль оси)*. При этом процесс трансформации (развертывания или плотнейшей упаковки) трубчатой структуры осуществляется при фиксированных параметрах/постоянном размере ее многоугольного поперечного сечения.

Экспериментально-поисковые исследования автора позволили создать трубчатую складчатую оболочку, допускающую возможность многократной обратимой трансформации без изменения габаритов многоугольных оснований/поперечного сечения в процессе трансформации и имеющую максимальную степень пакетируемости. При этом установлена строгая параметрическая зависимость принципиальной возможности обратимой трансформации результирующей трубчатой структуры от количества складчатых элементов, образующих кольцевые антипризмы, а также пропорционально-метрических характеристик составляющих треугольных панелей. Гибкие стыки, обеспечивающие

обратимую трансформацию предложенных трубчатых оболочек, образуются проклеиванием зазора/промежутка между контурными кромками соседних треугольных панелей двумя встречными слоями воздухонепроницаемого ленточного материала, обладающего высокой прочностью на разрыв.

Созданная оболочка состоит из расположенных наискось треугольных складок, образующих складчатые кольцевые пояса и способна трансформироваться путем встречного вращения многоугольных оснований и одновременного перемещения их вдоль оси с последующим разворачиванием/складыванием; при этом отдельные складчатые кольцевые пояса оболочки способны к автономной трансформации на произвольную величину.

**Патент 207516 РФ, МПК E04B 7/10, 1/32. Модуль складной / А.В.Коротич (РФ). - № 2021121128; Заявл. 16.07.21; Оpubл. 01.11.21; Бюл. № 31.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является расширение диапазона эффективного функционального использования конструкции за счет возможности свободной обратимой трансформации замкнутой трубчатой оболочки модуля и повышения степени ее пакуемости. Он достигается тем, что в модуле складном, имеющем трубчатое очертание и включающем складчатые кольцеобразные секции, последовательно состыкованные друг с другом по сторонам равносторонних многоугольных оснований и составленные из идентичных неравносторонних треугольных панелей, соединенных по кромкам гибкими/шарнирными связями, идентичные треугольные панели выполнены таким образом, когда наиболее длинная сторона каждой из них является диагональю описанного квадрата, вторая сторона проходит от угла квадрата к середине противоположной его стороны, а третья является половиной стороны квадрата; при этом равносторонние многоугольные основания состыкованных складчатых кольцеобразных секций выполнены в виде правильных девятиугольников.

[Опыты автора с экспериментальными объемными моделями показали, что степень пакуемости модуля при реализации совокупности существенных признаков может достигать значения 40:1. При этом именно приведенная совокупность существенных признаков позволяет осуществлять принципиаль-

ную трансформацию модуля наиболее эффективно: складчатые секции модуля, имеющие иное число сторон многоугольных оснований или составляющие треугольники с другими пропорциями, не создают возможности производить спиральную трансформацию структуры].

На рисунке 144,а- плоская развертка складчатой кольцеобразной секции модуля складного с обозначением пропорций составляющих треугольных панелей. На рисунке 144,б- модуль складной в состоянии максимально плотно сложенного пакета. На рисунках 144,в-д показаны различные стадии трансформации модуля, в т.ч. вариант, где складчатые кольцеобразные секции на различных участках имеют разное раскрытие. На рисунке 144,е- модуль в максимально возможном раскрытом состоянии, где складчатые кольцеобразные секции упруго деформированы в цилиндрическую оболочку.

Степень развертывания складчатых секций на различных участках конструкции может быть автономной и различной (например, некоторые секции могут быть максимально раскрыты, а соседние секции- сложены в плотный пакет). При максимально возможной раздвижке многоугольных оснований складчатых кольцеобразных секций происходит упругая деформация треугольных панелей из плоского состояния в криволинейное цилиндрическое; при этом все гибкие связи между треугольными панелями также искривляются по цилиндрической поверхности (рисунок 144,е). В случае выполнения модуля складного из упруго пластичных материалов (например, различные виды стеклопластиков) упругая деформация панелей является обратимой.

**Вторая концепция** конструкции предусматривает использование принципа *гармонической трансформации (одновременное, синхронное складывание-развертывание элементов формы по гибким связям без деформации граней с одновременным поступательным перемещением складок вдоль оси)*. При этом очертание и метрические параметры поперечного сечения трубчатой структуры в процессе ее трансформации изменяются без нарушения целостности и функциональных характеристик изделия.

**Патент 207561 РФ, МПК E04B 1/32. Модуль раздвижной / А.В.Коротич (РФ). - № 2021121129; Заявл. 16.07.21; Оpubл. 02.11.21; Бюл. № 31.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является расширение диапазона эффективного функционального использования конструкции за счет возможности свободной обратимой трансформации замкнутой трубчатой оболочки модуля и повышения степени ее пакетизируемости. Он достигается тем, что в модуле, имеющем трубчатое очертание и включающем одинаковые складчатые кольцеобразные секции, последовательно состыкованные друг с другом и составленные из многоугольных тонкостенных панелей, соединенных по кромкам гибкими/шарнирными связями, две противоположные стороны каждой кольцеобразной секции выполнены зеркально симметричными относительно друг друга, где каждая сторона образована двумя парами одинаковых панелей формы параллелограмма, состыкованных по боковым сторонам под углом друг к другу, а две другие противоположные стороны каждой кольцеобразной секции образованы складками из пар одинаковых прямоугольных панелей; причем торцевые кромки параллелограмматических панелей противоположащих зеркально симметричных сторон каждой кольцеобразной секции состыкованы с соответствующими участками Л-образных кромок двух складок из прямоугольных панелей; при этом в максимально плотном/сложенном состоянии все параллелограмматические панели обеих противоположащих сторон трансформируемой структуры уложены внутрь пакета, а в полностью раскрытом состоянии они являются взаимно компланарными в пределах каждой из сторон, где контурные кромки каждой кольцеобразной секции образуют прямоугольник.

[Опыты автора с экспериментальными объемными моделями показали, что степень пакетизируемости модуля при реализации совокупности существенных признаков может достигать значения 40:1]. На рисунке 144,ж изображен общий вид модуля, сложенного в плотный пакет. На рисунках 144,з-к показаны стадии трансформации модуля из сложенного пакета в максимально раскрытое состояние.

*«2. Трансформируемые многогранные модули (мобильные быстровозводимые временные жилые блоки в зонах массовой миграции населения, стихийных бедствий или вооруженных конфликтов; выставочное, рекламное и*

*театральное оборудование; малые формы средового дизайна; развивающие конструкторы, упаковка и др.*). Вопросы трансформации полностью или частично замкнутых многогранных модулей до настоящего времени в научно-технической литературе практически не освещались и не осуществлялись вследствие их исключительной сложности. Полное отсутствие каких-либо известных автору научных исследований данной проблемы послужило предпосылкой проведения соответствующих экспериментальных работ и получения первых функционально эффективных технических решений.

Так, автором разработан способ трансформации многогранного модуля формы *усеченного октаэдра* из плотно сложенной минимальной по габаритам упаковки в объемную форму (рисунки 145,а-к); при этом данный способ допускает возможность обратимой трансформации (обратной последовательности действий, т.е. демонтажа объемных конструкций с их последующим плотным пакетированием). [Форма усеченного октаэдра характерна и удобна тем, что при стыковке друг с другом по целым граням в многомодульную объемную структуру множество данных многогранников способно заполнять пространство без промежутков].

Начальная стадия развертывания многогранной оболочки усеченного октаэдра из плотной упаковки (восемь уложенных друг на друга одинаковых правильных шестиугольников, соединенных гибкими связями по некоторым целым сторонам- рисунок 145,а) заключается в раскрытии исходного шестиугольного восьмислойного пакета на две зеркально симметричные половины (два шестиугольных четырехслойных блока, соединенных двумя гибкими связями) и дальнейшем отгибе краевых пар шестиугольных панелей с превращением пакета в двухслойную плоскую развертку, каждый слой которой включает по две пары гибко соединенных шестиугольных панелей, расположенные зеркально симметрично под углом друг к другу (рисунки 145,б-г). Далее два слоя плоской развертки отводят друг от друга, придавая ей объемную форму (рисунок 145,д); при этом соответствующие свободные кромки краевых пар шестиугольников сближают до их полной стыковки и соединения (рисунки 145,е-и). В результате этих действий образуется оболочка усеченного октаэд-

ра, состоящая из восьми шестиугольных панелей, между которыми расположены шесть квадратных сквозных проемов (рисунок 145,к).

Полученная многогранная оболочка может соединяться с аналогичными многогранниками по свободным контурным кромкам квадратных сквозных проемов с образованием результирующих мультиячеистых составных структур произвольной конфигурации, имеющих цельную замкнутую поверхность (например, объемные формы на рисунках 11,г-д); при этом квадратные сквозные проемы внешней оболочки закрываются панелями соответствующей формы и размеров.

Предложенный автором способ позволяет трансформировать также и *полностью замкнутую оболочку* усеченного октаэдра; при этом в развертку поверхности многогранника включаются шесть квадратных панелей, соединенных гибкими связями с соответствующими шестиугольными панелями (в исходном положении плотной упаковки квадраты уложены между соответствующими шестиугольниками).

Второе авторское предложение- многозвенная конструкция, способная к обратимой трансформации и включающая пирамидальные *четырёхгранные модули из пятиугольных панелей*, соединенных гибкими связями (рисунок 145, л-о). Многозвенные полосы из нескольких модулей уложены в плотный пакет (рисунок 145,м), конфигурация которого соответствует очертанию пятиугольной грани модуля. Далее пакет разворачивается в плоскую двухслойную ленту, где каждый слой образован парами зеркально симметричных пятиугольных панелей (на рисунке 145,н показана лента из двух сложенных звеньев- четырехгранных модулей). Заключительная стадия развертывания предполагает разведение слоев ленты в разные стороны с одновременной трансформацией многогранной оболочки вдоль ее продольной оси (рисунок 145,о), в результате чего формируются четырехгранные пирамидальные модули. Результирующая структура (рисунок 145,л) может иметь различную конфигурацию в зависимости от схемы соединения отдельных развернутых полос и отличается чрезвычайно высокой скоростью возведения, что особенно эффективно в экстремальных ситуациях» [xxx].

*3. Складчатые структуры (плоскостные, цилиндрические, радиальные, сложного очертания) (покрытия зданий и сооружений, а также декоративно-художественные элементы и малые формы средового дизайна, подвесные звукорассеивающие потолки в зданиях и сооружениях, сценические элементы театральных декораций, выставочные модули и рекламные стенды, игрушки и конструкторы, оболочки светильников и др.).*

**Покрытие радиальное (заявка № 2022100397 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение общей и местной жесткости покрытия и увеличение перекрываемого пролета. Он достигается тем, что в покрытии складчатом, очерченном симметричным многоугольным контуром и включающем исходящие из центра радиальные складки, расширяющиеся от центральной вершины к контуру и соединенные по контуру треугольными гранями, покрытие выполнено из двух зеркально симметричных складчатых радиальных слоев, состыкованных друг с другом по соответствующим контактным радиальным ребрам; причем центральные кромки всех радиальных складок обоих слоев соединены в общее осевое ребро, перпендикулярное плоскости многоугольного контура; при этом поверхности радиальных складок каждого слоя выполнены упруго изогнутыми, а соответствующие друг другу радиальные складки обоих слоев попарно соединены по равным радиальным кромкам и объединены по крайним кромкам контурными складками из двух одинаковых равнобедренных треугольных граней с образованием внутренней замкнутой полости ромбовидного поперечного сечения.

На рисунке 146,г показан общий вид покрытия складчатого (фрагмент). На рисунках 146,д,е изображены объемный элемент покрытия, а также фрагмент его плоской развертки.

**Патент 209140 РФ, МПК E04B 7/10. Покрытие радиальное / А.В. Коротич (РФ).- № 2021121126; Заяв. 16.07.21; Опубл. 02.02.22; Бюл. 4.**

Технический результат, на достижение которого направлено решение - повышение общей жесткости покрытия и увеличение перекрываемого пролета.

Он достигается тем, что покрытие радиальное очерчено замкнутым многоугольным контуром, включает гибко/шарнирно соединенные треугольные тонкостенные панели и состоит из спаренных полых клиновидных пирамидальных элементов, у которых одно ребро является общим центральным осевым, а наиболее удаленные от центра ребра составляют участки многоугольного контура; причем спаренные клиновидные элементы имеют плоскую развертку из четырех равнобедренных треугольников с равными основаниями, последовательно состыкованных друг с другом вершинами оснований, и к которым по боковым сторонам присоединены три однотипных треугольника, ориентированные вершинами в противоположную сторону, у каждого из которых по две боковых стороны равны соответствующим сторонам смежных равнобедренных треугольников, а третья сторона соединяет вершины двух соседних равнобедренных треугольников и составляет центральное осевое ребро покрытия.

На рисунке 146,а- общий вид покрытия радиального (фрагмент). На рисунках 146,б,в- общий вид спаренных полых клиновидных пирамидальных элементов покрытия, а также вариант их плоской развертки.

[Новая промышленно значимая сфера использования *трансформируемых решетчатых* оболочек- конструкции *космических радиотелескопов*, которые выводятся на орбиту в виде плотного пакета и раскрываются в космосе пружинным механизмом, образуя форму параболической антенны (например, известное решение телескопа КРТ-10). Геометрическое моделирование и конструирование структур данного типа в настоящей работе не производится].

### **3.3. Гидротехнические промышленные сооружения как объекты современного дизайна**

«Дизайн промышленных сооружений сегодня как никогда актуален: разработка технически эффективных резервуаров (водонапорных башен, силосов, бункеров, газгольдеров и проч.), плотин и водоохладителей/градирен исключительно востребована и способна вывести промышленность самых различных отраслей на качественно новый уровень технического прогресса.

Между тем известные на сегодняшний день работы сферы архитектуры и дизайна промышленных объектов, в т.ч. гидротехнических, датируются про-

шлым веком и не дают ответов на вопросы, касающиеся как проектирования современных объектов так и модернизации уже существующих промышленных сооружений. В результате сегодня данное научно-творческое направление остается одним из самых малоизученных и проблемных в сфере дизайна, что настоятельно требует новых творческих подходов к его эффективной практической реализации.

На рисунке 108,б представлено дизайнерское решение комплекса последовательно расположенных воронкообразных водонапорных башен с лицевыми складчатыми оболочками, выполненными из композитных панелей четырехугольной формы, перегнутых по диагонали и обладающих большой жесткостью. Динамичность форм башен обусловлена их общим контурным очертанием/силуэтом и геометрическим характером закрученной складчатой фрактальной структуры лицевых оболочек вследствие наличия только поворотной/«вихревой» симметрии.

Автором предложен ряд новых технически эффективных формотворческих решений таких гидротехнических сооружений, как *градирни*, дизайн которых разработан в русле соответствующих технических концепций.

*Первая концепция* предусматривает *выполнение оросителя градирни в виде цельных спиральных/геликоидальных оболочек, огибающих центральную распределительную трубу.*

**Патент 116542 РФ, МПК E04H 5/12. Сооружение / А.В.Коротич (РФ). - № 2011152380/03; Заявл. 21.12.11; Оpubл. 27.05.12; Бюл. № 15.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено данное решение, является более интенсивное охлаждение теплоносителя путем увеличения пути его прохождения в струе восходящих воздушных потоков. Он достигается тем, что в гидротехническом сооружении, содержащем вытяжную башню, а также расположенный внутри нее водосборный бассейн с оросителем, ороситель сооружения выполнен в виде осевой вертикальной распределительной трубы, вокруг которой по всей высоте спирально расположены две водоотводящие противоположащие геликоидальные оболочки; при этом в со-

оружении водоотводящие противоположные геликоидальные оболочки оросителя могут быть выполнены складчатыми.

На рисунке 107,д- поперечный разрез сооружения с внутренними элементами, ороситель которого содержит две складчатые водоотводящие противоположные геликоидальные оболочки; рисунок 107,е- общий вид фрагмента оросителя, содержащего две водоотводящие противоположные складчатые геликоидальные оболочки, расположенные спирально вокруг осевой распределительной трубы.

Геликоидальные оболочки оросителя выполняются перфорированными; например, изготавливаются из тонкой мелкоячеистой металлической сетки. Возможно изготовление оболочек в виде предварительно напряженных мембранных или тентовых элементов, а также дырчатых композитных панелей либо тонких гофрированных металлических листов с просечками.

Наружные спиралевидные контурные кромки оболочек по всей своей длине содержат бортовые элементы, препятствующие вертикальному стоку воды с оболочек в бассейн. Крепление оболочек к осевой трубе, а также их общая конструктивная жесткость обеспечиваются одним из известных способов (внешний трубчатый каркас, кронштейны, вантовые растяжки и пр.).

Действие сооружения осуществляется следующим образом. Нагретая вода поднимается насосами по распределительной трубе вверх, разбрызгивается на внешнюю сторону двух противоположных геликоидальных оболочек и, далее распределяясь тонкой пленкой по всей их поверхности, стекает вниз по спиралевидной траектории в водосборный бассейн, откуда возвращается в производственный процесс.

Эффективность предложенного устройства обусловлена тем, что струи воды, распределяясь тонкой пленкой по поверхности мелкоячеистой сетки оболочек и удерживаясь на ней под действием сил капиллярного натяжения, стекают по спиралевидной траектории вниз, при этом многократно контактируя со встречными восходящими потоками холодного воздуха, проходящими внутри вытяжной башни между элементами оросителя и охлаждающими тонкую пленку воды с обеих сторон. Резкое повышение площади двухстороннего

контакта водяной пленки с восходящими потоками холодного воздуха существенно повышает техническую эффективность работы сооружения.

*Вторая концепция* предусматривает выполнение вытяжной башни и оросителя градирни в виде отдельных парных соосных оболочек вращения, расположенных ярусами вдоль центральной распределительной трубы в попарно состыкованном виде (смыкаясь соответствующими кольцевыми основаниями) либо с кольцевым зазором относительно друг друга.

**Патент 116543 РФ, МПК E04H 5/12. Сооружение / А.В.Коротич (РФ). - № 2012101523/03; Заявл. 16.01.12; Опубл. 27.05.12; Бюл. № 15.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено данное решение, является повышение скорости охлаждения теплоносителя путем увеличения турбулентности восходящих воздушных потоков. Он достигается тем, что в гидротехническом сооружении, содержащем вытяжную башню, а также расположенный внутри нее водосборный бассейн с оросителем, выполненным в виде осевой вертикальной распределительной трубы, вдоль которой с зазором относительно друг друга расположены соосные тонкостенные оболочки в виде отсеков поверхностей вращения, вытяжная башня выполнена в виде отдельных соосных кольцевых ярусов; при этом каждый кольцевой ярус башни образован оболочкой вращения и сопряжен по кольцевым основаниям с соответствующей внутренней соосной оболочкой оросителя, имеющей встречную пространственную ориентацию, либо выполнен с щелевидным кольцевым зазором относительно нее.

На рисунке 107,а- вертикальный разрез сооружения, соосные кольцевые ярусы которого содержат сопряженные тонкостенные оболочки вытяжной башни и оросителя в виде отсеков конических поверхностей; рисунки 107,б, в,г- компоновочные схемы кольцевых ярусов сооружения, содержащих соосные оболочки вытяжной башни и оросителя в виде отсеков поверхностей вращения одинарной и двойкой кривизны, в т.ч. расположенных с зазором относительно друг друга (общий вид с вырезом 1/4).

Кольцевые ярусы башни, а также соосные тонкостенные оболочки оросителя могут быть выполнены в виде отсеков конических поверхностей либо

отсеков поверхностей двойкой отрицательной или положительной кривизны. Кольцевые ярусы башни могут выполняться как сплошными так и перфорированными; при этом нижележащие ярусы могут частично вдвигаться во внутреннюю полость вышележащих смежных ярусов. Тонкостенные оболочки оросителя выполняются обязательно перфорированными, например, изготавливаются из тонкой мелкоячеистой металлической сетки. Возможно их изготовление в виде предварительно напряженных мембранных или тентовых элементов, а также дырчатых композитных панелей либо тонких гофрированных металлических листов с просечками.

В плоскостях горизонтальных оснований всех ярусов башни и оболочек оросителя расположены кольцевые бортовые элементы для увеличения контурной жесткости оболочек и облегчения их конструктивной фиксации. Каждый кольцевой ярус башни и соответствующая ему встречно расположенная оболочка оросителя могут сопрягаться по соответствующему кольцевому бортовому элементу оснований без зазора или с щелевидным кольцевым зазором относительно друг друга.

Крепление ярусов и оболочек к осевой трубе, их совместная фиксация и общая конструктивная жесткость обеспечиваются одним из известных способов (трубчатый каркас, кронштейны, вантовые растяжки и т.д.).

Действие сооружения осуществляется следующим образом. Нагретая вода поднимается насосами по распределительной трубе вверх, разбрызгивается на внутреннюю сторону перфорированных оболочек оросителя и, распределяясь тонкой пленкой на их поверхности под действием сил капиллярного натяжения, стекает вниз против восходящих потоков холодного воздуха, попадая на нижележащие оболочки оросителя и далее - в водосборный бассейн, откуда возвращается в производственный процесс. Техническая эффективность предложенного устройства обусловлена тем, что забор охлаждающих теплоноситель воздушных масс производится не только с уровня земли, а также дополнительно на различных высотных отметках через зазоры между смежными кольцевыми ярусами вытяжной башни и оболочками оросителя, щелевидный характер которых обуславливает повышенную скорость прохождения воздуш-

ных масс. При этом резкое увеличение турбулентности (интенсивности движения) восходящих потоков холодного воздуха, обусловленное наличием многочисленных щелевидных зазоров между соседними кольцевыми ярусами башни, а также между сопряженными ярусами башни и оболочками оросителя, обеспечивает ускоренное двухстороннее охлаждение водяной пленки, распределенной по поверхности оболочек оросителя, что существенно повышает техническую эффективность гидросооружения-теплообменника» [333].

### **3.4. Складчатые и решетчатые структуры как компоненты дизайна экстерьеров зданий и сооружений**

*«Решетчатые структуры.* Формообразование таких конструкций производится с использованием трех основных способов геометрического моделирования: а) вариативная модульная пространственная комбинаторика исходного структурного элемента; б) прорезание (частичное или сквозное) различными объемными фигурами (призмами, пирамидами, сферами, торами, гиперболоидами, конусами и др.) или их отсеками исходного сплошного объема; в) вариативное параметрическое преобразование исходной сквозной/ячеистой структуры путем разнохарактерной деформации (вытягивание, изгиб и др.) ее различных участков.

Первый способ представлен на рисунке 14,з-к, где показаны некоторые из возможных решений вариативной компоновки исходного решетчатого модуля треугольной конфигурации с регулярной внутренней структурой. Аналогичные модули способны при вариативной стыковке друг с другом образовывать многочисленные типы несущих и облицовочных конструкций плоскостной, сводчатой, куполообразной и сложной формы.

Второй способ отражен на рисунке 137,в. Здесь решетчатая структура получена операцией сквозного вырезания эллиптических торов, составленных в цепи, смещенные относительно друг друга, из толщи исходных призматических объемов. [Возможный вариант способа- получение решетчатой структуры операцией удаления расположенных друг над другом ярусов из четырех отдельно расположенных сфер, частично врезанных в толщу прямого призматического объема с квадратным основанием по его четырем боковым граням].

Третий способ представлен на рисунке 137,а-б, где произведено двухвариантное параметрическое преобразование исходной многомодульной решетки из Г-образных призматических элементов, составленных в квадраты. В первом случае модифицируется центральная часть исходной решетки, максимально удлиняясь вдоль вертикальной оси; во втором варианте исходная решетка выполняется вспарушенной/куполообразной. В рамках способа возможно выполнение результирующей структуры в консольном/зонтном варианте.

***Решетчатые оболочки в экстерьерах общественных зданий.*** В данном случае решетчатые структуры выступают как основной художественно выразительный и технически эффективный элемент фасадов имиджевых зданий, повышающий их жесткость и позволяющий регулировать инсоляцию помещений (рисунок 110,б). Решетчатые элементы фасадов зданий могут дополняться структурными модулями средового дизайна, вступая с ними в композиционное взаимодействие (рисунок 110,а). Регулярная сотовая структура фасадов зданий комплекса, состоящая из множества шестиугольных ячеек, очерченных складчатыми ребрами (рисунок 112,б) может служить основной художественно выразительной и технически эффективной деталью внешней оболочки объекта.

На рисунке 108,в показана решетчатая фрактально-спиральная структура телевизионной башни, увенчанной кристаллическим остекленным объемом. Здесь между витками большой наружной трубчатой спирали расположена система более тонких диагональных связующих стержневых элементов.

***Складчатые структуры.*** В контексте общей методологии формообразования складок, трансформируемых из плоскости, необходимо выделить три актуальных направления моделирования новых форм: а) геометрическое конструирование складчатых оболочек по принципу «контррельефа»; б) складчатая аппроксимация гладких граней исходных объемов; в) двухстадийная трансформация исходной плоской развертки с образованием складчатой поверхности, которая на втором этапе преобразуется в складчатый объем.

Принцип «контррельефа» в складчатых оболочках демонстрируют рисунки 10-12 и рисунок 139,б, где образование целостной структуры происхо-

дит путем стыковки смежных повторяющихся многогранных участков поверхности в обратном/перевернутом друг относительно друга положении.

Принцип складчатой аппроксимации граней исходных объемов представлен на рисунке 139,а, где замкнутая центрическая структура образована аппроксимацией граней исходного додекаэдра пятиугольными складчатыми панелями, зигзагообразный рельеф которых образован концентрическими складчатыми звездами.

Двухстадийная трансформация плоской ленточной развертки с зигзагообразным рисунком линий сгиба представлена на рисунке 143. Первая стадия предполагает образование открытой складчатой спирали (рисунок 143,б) из плоской ленточной развертки с зигзагообразным рисунком линий сгиба (рисунок 143,а). Вторая стадия предполагает соединение противоположащих кромок полученной спирали с образованием спирально-складчатой трубы (рисунок 143,в и рисунок 142,а).

Во втором случае ленточная развертка клиновидной формы (рисунок 143,г) с зигзагообразным рисунком линий сгиба трансформируется на первом этапе в складчатую спираль конического очертания (рисунок 143,д); причем вследствие клиновидной формы развертки заключительная стадия трансформации спирали в трубчатый объем обуславливает укладку контурных участков спирали на внутреннюю поверхность объема (рисунок 143,е).

***Складчатые оболочки в экстерьерах общественных зданий и сооружений.*** В данном случае складчатые элементы зданий являются основными акцентирующими, выразительными и пластически активными деталями фасадов и покрытий имиджевых объектов. При этом складчатые структуры, трансформируемые из плоскости, могут иметь сложное очертание контурных линий и эффектную пластику многогранной поверхности, что придает им ярко выраженный природообразный облик (рисунки 142,б-в).

Так, складчатая структура фасадов пирамидообразного комплекса (рисунок 111,а) образована горизонтальными ярусами тонкостенных стрельчатых модулей с криволинейными очерковыми линиями, где модули смежных ярусов расположены в шахматном порядке. Клювообразные козырьки стрельча-

тых модулей, составленных из двух отсеков цилиндрических оболочек, позволяют регулировать внутренний инсоляционный режим помещений. Целостная пространственная многомодульная конструкция обладает большой жесткостью при различных комбинациях нагрузок.

Складчатые оболочки покрытий могут быть эффективно реализованы в тентовом конструктивном варианте. Так, складчатая поверхность тентовых оболочек сооружения (рисунок 111,б) формируется системой внутренних вантрастяжек, а также трубчатыми дугами каркаса. Комплекс веерообразных/зонтичных тентовых оболочек на трубчатом решетчатом каркасе представлен на рисунке 106. Форма складчатых оболочек стабилизируется системой внутренних вантовых растяжек, вшитых в полотно. Комплекс может быть также реализован в обратном/перевернутом варианте.

Остроугольная двухскатная складчатая оболочка покрытия общественного здания полностью определяет композиционные качества его экстерьера, в первую очередь - динамичный силуэт (рисунок 115,а). Каждая из двух зеркально симметричных половин оболочки представляет собой складчатый цилиндроид, где поперечные наклонные складки расположены в направлении его образующих. Складчатые скаты оболочки покрытия, очерченные дугами и сопряженные друг с другом через узкий линзообразный цилиндрический коньковый отсек, опираются на основание всего в четырех точках.

Весьма эффективно складчатые и многогранные структуры могут применяться при проектировании имиджевых индивидуальных жилых домов, зачастую полностью формируя облик фасадов и покрытия. Так, дизайн решения, представленного на рисунке 114,а, целиком определяется ритмически расположенными в уровне кровли многогранными объемами со шпалеобразными остроугольными завершениями, сопряженными посредством полигональных профилированных витражных арок с нижележащими призматическими и пирамидальными угловыми усеченными объемами, а также введенными в общее композиционное решение элементами национальной восточной стилистики. В рамках этой же композиционной темы «фасады + кровля» выполнены концепты жилых зданий (рисунки 115,б-в), основанные на переменных усечениях и

пересечениях соосных пирамидальных и призматических объемов. А композиционные качества фасадов индивидуального жилого дома, показанного на рисунке 114,б, формируются двумя симметрично расположенными конусообразными оболочками, содержащими ленты наклонных витражей и остекленные вертикальные трапециевидальные торцы.

Главными композиционными акцентами фасада здания, а также функционально и конструктивно эффективными его деталями могут являться ритмически расположенные одинаковые остроугольные оболочки-гипары с линейным графическим оформлением поверхности (рисунок 112,а).

***Крупноскладчатые и мелкопрофилированные тонколистовые панели как детали фасадов и строительных элементов.*** Данные изделия особенно эффективны в качестве структурных элементов гелиопанелей/солнечных батарей, конструктивных систем «сэндвич», листовой металлочерепицы, съемной или стационарной листовой опалубки железобетонных конструкций сложной комбинированной формы, гофрированных стенок составных опор, балок и арок двутаврового и таврового поперечного сечения (рисунок 11,б-д). Эти изделия изготавливаются из металла, стеклопластиков, многослойных и композитных материалов.

Развивается и такое актуальное направление эффективного использования складчатых многослойных панелей, как модульные сборные жилые дома, общественные комплексы и ангары для техники. Такие объекты востребованы при создании мобильных быстровозводимых поселений в местах освоения новых месторождений газа, нефти и рудных ископаемых, а также военных городков. В рамках данного направления автором разработан *комплекс модульных сборных сооружений многогранной формы для условий Крайнего Севера или Антарктики*. Основные жилые объекты в рамках комплексного проекта имеют очертание усеченной квадратной или шестиугольной пирамиды, наклонные грани которой образуют ряды параллельных модульных крупноскладчатых призматических многослойных панелей, между которыми на гребнях расположены узкие ленточные наклонные светопроемы. Замкнутый пирамидальный объем жилого блока расположен на жесткой решетчатой структуре-стилобате,

которая снабжена телескопическими устройствами для стабилизации уровня блока при внезапном проседании/выпучивании грунтов или подтоплении (рисунки 99). Такие же модульные складчатая оболочка и структура-стилобат использованы для организации протяженного и меньшего по высоте общественного комплекса, расположенного между жилыми многоэтажными пирамидальными блоками (рисунок 98), а также автономной вертолетной площадки. Модульность, легкость в сборке и демонтаже, конструктивная жесткость и устойчивость, надежная защита от внезапных и разнообразных природных аномалий, минимум теплопотерь через пирамидальную оболочку - основные функционально-технические характеристики представленного проекта.

**Многогранные оболочки объемов зданий.** Автором разработан общественный комплекс, объемы которого состоят из многогранных и гиперболических остекленных оболочек.

Первый вариант комплекса (рисунок 116) содержит четыре состыкованных модульных объема (один центральный и три боковых), имеющих форму усеченной треугольной антиризмы; при этом разнонаклонные трапециевидные остекленные грани боковых объемов имеют асимметричную витражную разбивку, а центральный объем - регулярную ромбическую.

Общая объемная структура второго варианта комплекса (рисунок 117) аналогична первому варианту; однако в данном случае модульные объемы стыкуются друг с другом угловыми вершинами и имеют остекленные складчатые оболочки, каждая из которых включает шесть зеркально симметричных элементов формы гиперболического параболоида с линейной вертикальной витражной разбивкой. Модульные объемы комплекса в рамках обоих вариантов имеют вертикальные центральные атриумы по всей высоте.

**Слоистые структуры.** Многослойные структуры с постоянными или переменными геометрическими параметрами слоев имеют весьма широкий диапазон эффективного использования - от «параметрической» мебели и настенных панно в жилых и общественных интерьерах до малых форм средового дизайна и оболочек фасадов имиджевых зданий.

Вариативность формообразования слоистых конструкций основана на характере дискретного перемещения слоев относительно друг друга либо на характере постепенного или скачкообразного изменения их конфигурации либо на одновременном совмещении этих двух факторов (рисунок 138).

Так, сводчатая многослойная структура образована параллельным перемещением слоев, имеющих сложное криволинейное очертание, дискретно изменяющееся от одного слоя к другому с получением зеркально симметричных гребневидных участков, между которыми ритмически расположены слои совершенно другой конфигурации (рисунок 138,а).

Иная схема геометрического моделирования многослойной структуры представлена на рисунке 138,б, где два симметрично расположенных слоя с зигзагообразным контуром последовательно снижаются в разные стороны, одновременно поворачиваясь вокруг центральной вертикальной оси навстречу друг другу с образованием четырех попарно пересекающихся зеркально симметричных спиралевидных объемов; при этом геометрические параметры слоев в процессе моделирования формы остаются неизменными.

Также не меняются параметры исходного слоя спиралевидной пилонной структуры (рисунок 138,в). В данном случае слои, образованные двумя пересекающимися эллиптическими объемами, поднимаются на высоту слоя с одновременным ритмическим поворотом вокруг оси на некоторый фиксированный угол. Конический объем, имеющий фрактальную структуру (рисунок 138,г), образован комбинированными слоями, каждый из которых включает круглую тонкую плиту, к которой снизу присоединен элемент со сложным многолучевым звездчатым контуром. Такие слои уложены друг на друга с одновременным разворотом вокруг оси на определенный фиксированный угол; при этом их габариты последовательно/равномерно уменьшаются от большего в основании к меньшему в вершине.

***Слоистые структуры в экстерьерах общественных зданий.*** Большие практические перспективы при создании технически эффективных и эстетически выразительных фасадов зданий имеет использование функциональных фасадных деталей в виде фрактально-ступенчатых многослойных модулей с пра-

вильным многоугольным основанием, где слои, подобные основанию, уложены друг на друга и равномерно/ритмично уменьшаются в размерах с одновременным поворотом вокруг центральной оси.

Фасадная оболочка здания с акцентирующими многослойными элементами подобного типа представлена на рисунке 113,б. В данном примере выразительность и функционально-техническая эффективность решения определяется врезкой в главный фасад треугольных элементов с регулярной фрактально-ступенчатой структурой, которые повышают жесткость фасадной оболочки и одновременно служат блоками вентиляционного, отопительного и прочего инженерного оборудования.

***Ступенчатые фасадные структуры общественных зданий.*** Выразительность композиции здания, показанного на рисунке 113,а, обусловлена ступенчатой компоновкой одинаковых призматических выступов, смежные горизонтальные ярусы которых расположены в шахматном порядке и ритмически заглублены в фасад, одновременно спускаясь уступами от кровли к основанию, образуя клиновидную форму консольного/перевернутого типа» [343].

Патентные инновации автора в контексте развития сферы дизайна экстерьеров зданий и сооружений сосредоточены на трех направлениях.

***1. Оболочки покрытий.*** Данные компоненты строительных объектов могут выполнять роль автономных изделий плоскостной, сводчатой, куполообразной или сложной конфигурации либо являться важной составной частью развитых архитектурных сооружений и комплексов различного функционального назначения (в т.ч. промышленных и сельскохозяйственных).

Композиционно-технические перспективы развития данных типов оболочек- в использовании различных по очертанию отсеков линейчатых поверхностей (коноида, цилиндрида, гиперболического параболоида, однополостного гиперболоида, геликоида, торса и др.) в качестве составных тонкостенных элементов покрытий зальных сооружений- спортивных и выставочных комплексов, цирков, торговых центров и рынков, аэропортов, ангаров, оранжерей, концертных залов, аудиторий, складских сооружений, атомных станций, малых форм средового дизайна. [Регулярные дискретные структуры, представ-

ленные в данном разделе, могут иметь отнюдь не только строительное назначение; они также могут быть эффективными в других отраслях промышленного дизайна, например, в качестве оболочек светильников].

**Патент 92048 РФ, МПК E04B 7/10. Оболочка сводчатая / А.В.Коротич (РФ). - № 2009143402/22; Заявл. 23.11.09; Оpubл. 10.03.10; Бюл. № 7.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение жесткости и снижение материалоемкости оболочки. Он достигается тем, что в оболочке сводчатой, включающей однотипные тонкостенные пространственные шестиугольные панели, объединенные по прямолинейным кромкам, каждая из сборных шестиугольных панелей содержит четыре зеркально симметричных гиперболических элемента, соединенных таким образом, что середины двух горизонтальных кромок панели, параллельных продольной оси оболочки, соединены центральным ребром, ориентированным по дуге сводчатой оболочки, а вершины соединения боковых кромок панели, попарно расположенных между ее горизонтальными кромками, соединены ребрами с серединой центрального ребра. На рисунке 128,и показан общий вид сводчатой оболочки.

Опорные участки оболочки могут выполняться в виде половины шестиугольных панелей (парные гиперболические оболочки, примыкающие к основанию), содержать плоские трапециевидальные панели-вставки, а также включать сквозные светоаэрационные проемы, оконтуренные трапециевидальными рамами. Заявленная компоновка гиперболических элементов в структуре шестиугольной панели оболочки позволяет снизить расход материалов за счет того, что шестиугольная панель моделирует так называемую «минимальную поверхность», т.е. обладающую наименьшей площадью (а, следовательно, материалоемкостью) на заданном пространственном контуре.

**Патент 117946 РФ, МПК E04B 7/10. Покрытие радиальное / А.В.Коротич (РФ). - № 2011152368/03; Заявл. 21.12.11; Оpubл. 10.07.12; Бюл. № 19.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено предложенное решение, является увеличение общей и местной жесткости покрытия. Он достигается тем, что в покрытии радиальном, очерченном правильным

многоугольным контуром и включающем пространственные оболочки в виде отсеков гиперболического параболоида с прямыми кромками, состыкованные с образованием осевого ребра, перпендикулярного плоскости контура, одна из вершин осевого ребра соединена ребрами с серединами сторон многоугольного контура, другая вершина осевого ребра соединена со сторонами многоугольного контура парами ребер с образованием промежуточных вершин, расположенных между серединами сторон многоугольного контура и его угловыми вершинами. На рисунке 118,м показан общий вид покрытия, очерченного пятиугольным плоским контуром.

Применение предложенного покрытия радиального позволит увеличить общую и местную жесткость за счет введения в структуру дополнительных пар ребер жесткости, между которыми введены угловые гиперболические оболочки, позволяющие резко увеличить высоту поперечного сечения покрытия в периметральной/контурной зоне.

**Патент 131026 РФ, МПК E04B 7/10. Покрытие радиальное / А.В.Коротич (РФ). - № 2012124192; Заявл. 09.06.12; Оpubл. 10.08.13; Бюл. № 22.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено предложенное решение, является повышение общей жесткости покрытия радиального и увеличение перекрываемого пролета. Он достигается тем, что в покрытии радиальном, имеющем замкнутый правильный многоугольный контур и включающем однотипные линейчатые оболочки в форме четырехугольного отсека гиперболического параболоида с прямыми кромками, соединенные с образованием вертикальных светоаэрационных треугольных проемов и расположенные по принципу поворотной симметрии, гиперболические оболочки размещены таким образом, что у каждой из них одна кромка образует сторону многоугольного контура, вторая противоположная кромка образует осевое ребро, перпендикулярное плоскости многоугольного контура, а третья и четвертая кромки выполнены свободными и поочередно соединяют противоположные вершины осевого ребра со смежными вершинами многоугольного контура; при этом вторые кромки всех оболочек покрытия состыкованы по осевому ребру. На рисунке 118,л- общий вид покрытия радиального с правильным ше-

стиугольным контуром. Применение предложенного покрытия радиального позволит повысить общую жесткость конструкции за счет наличия геометрически неизменяемой жесткой треугольной сети ребер, а также осевого ребра, повышающего жесткость центральной зоны конструкции, что позволит увеличить перекрываемый пролет.

**Патент 201655 РФ, МПК E04B 1/32. Модуль строительный / А.В.Корогич (РФ). - № 2020128660; Заявл. 28.08.20; Оpubл. 25.12.20; Бюл. № 36.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено предложенное решение, является увеличение конструктивной высоты при сохранении или уменьшении габаритов составляющих оболочек, а также повышение местной и общей жесткости модуля. Он достигается тем, что в модуле строительном, включающем линейчатые оболочки в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида с прямыми кромками, состыкованные по кромкам с образованием замкнутого многоугольного основания, в середину каждой стороны которого установлены Г-образные ребра, радиальные стороны которых состыкованы в центральной осевой вершине, расположенной вне плоскости основания, середины боковых сторон Г-образных ребер, примыкающих к многоугольному основанию, последовательно соединены в замкнутое срединное многоугольное ребро, очерченное участками, имеющими промежуточные вершины, равноудаленные от близлежащих соседних Г-образных ребер и соединенные промежуточными ребрами с радиальными сторонами близлежащих соседних Г-образных ребер и многоугольным основанием.

В модуле строительном каждая промежуточная вершина замкнутого срединного многоугольного ребра может быть соединена: -парой промежуточных ребер с серединами радиальных сторон близлежащих соседних Г-образных ребер, а также парой промежуточных ребер с серединами участков многоугольного основания, расположенных между данными Г-образными ребрами (рисунок 121,б; рисунок 124,д); -парой промежуточных ребер с серединами радиальных сторон близлежащих соседних Г-образных ребер, а также промежуточным ребром с соответствующей близлежащей вершиной многоугольного основания, расположенной между данными Г-образными ребрами (рисунок

121,г); -промежуточным ребром с центральной осевой вершиной, а также парой промежуточных ребер с серединами участков многоугольного основания, расположенных между близлежащими соседними Г-образными ребрами (рисунок 124,е).

На основе модуля могут быть образованы плоскостные структурные плиты, а также составные пространственные структуры сводчатой, куполообразной и более сложной конфигурации.

**Патент 204910 РФ, МПК E04B 1/00. Модуль строительный / А.В.Коротич (РФ). - № 2021105748; Заявл. 05.03.21; Оpubл. 17.06.21; Бюл. № 17.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено предложенное решение, является увеличение конструктивной высоты при сохранении или уменьшении габаритов составляющих оболочек, а также повышение местной и общей жесткости модуля. Он достигается тем, что в модуле строительном, включающем четырехугольные оболочки двоякой кривизны с прямыми кромками, состыкованные по кромкам с образованием замкнутого шестиугольного основания, где в три вершины шестиугольного основания через одну установлены Г-образные ребра, радиальные стороны которых состыкованы в центральной осевой вершине, расположенной вне плоскости основания, середины боковых сторон Г-образных ребер, примыкающих к многоугольному основанию, последовательно соединены в замкнутое срединное треугольное ребро, очерченное прямолинейными участками, центры которых соединены промежуточными ребрами с радиальными сторонами соседних Г-образных ребер и шестиугольным основанием.

В модуле строительном центр каждого прямолинейного участка срединного треугольного ребра может быть соединен: -парой промежуточных ребер с радиальными сторонами близлежащих Г-образных ребер, а также парой промежуточных ребер с близлежащими участками шестиугольного основания (рисунок 120,б); -парой промежуточных ребер с радиальными сторонами близлежащих Г-образных ребер, а также промежуточным ребром с соответствующей близлежащей вершиной шестиугольного основания; -промежуточным

ребром с центральной осевой вершиной, а также парой промежуточных ребер с близлежащими участками шестиугольного основания (рисунок 120,г).

На основе модуля могут быть образованы плоскостные структурные плиты, а также составные пространственные структуры сводчатой, куполообразной и более сложной конфигурации.

**Патент 204594 РФ, МПК E04B 7/08. Купол складчатый / А.В.Коротич (РФ). - № 2021106506; Заявл. 12.03.21; Опубл. 01.06.21; Бюл. № 16.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение жесткости составной конструкции модуля в его средней зоне, а также увеличение его конструктивной высоты при сохранении либо уменьшении габаритов составляющих оболочек. Он достигается за счет того, что в куполе складчатом, включающем четырехугольные оболочки двойной кривизны с прямыми кромками, состыкованные друг с другом по кромкам с образованием замкнутого многоугольного основания, где в контур многоугольного основания через одну его угловую вершину установлены Г-образные ребра, радиальные участки которых состыкованы в центральной осевой вершине купола вне уровня многоугольного основания, между каждой парой соседних Г-образных ребер и расположенным между ними угловым участком многоугольного основания оболочки состыкованы с образованием внутренней вершины, расположенной в уровне между центральной осевой вершиной и многоугольным основанием и соединенной наклонными внутренними ребрами с вершинами близлежащих Г-образных ребер на контуре многоугольного основания и их радиальными участками.

В куполе складчатом каждая внутренняя вершина может быть соединена: -двумя парами наклонных внутренних ребер с вершинами Г-образных ребер на контуре многоугольного основания и радиальными участками близлежащих Г-образных ребер (рисунок 121,е); -парой наклонных внутренних ребер с вершинами Г-образных ребер на контуре многоугольного основания, и одним ребром- с радиальным участком какого-либо из близлежащих Г-образных ребер (рисунок 121,д); -парой наклонных внутренних ребер с вершинами Г-образных ребер на контуре многоугольного основания, и одним радиальным

ребром- с пересечением радиальных участков Г-образных ребер в центральной осевой вершине (рисунок 121,ж).

**Патент 204595 РФ, МПК E04B 1/00. Модуль составной / А.В.Коротич (РФ). - № 2021106507; Заявл. 12.03.21; Опубл. 01.06.21; Бюл. № 16.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение общей и местной жесткости составной конструкции путем введения дополнительных ребер жесткости и придания результирующей объемной структуре модуля полной геометрической неизменяемости. Он достигается за счет того, что в модуле составном, включающем состыкованные друг с другом однотипные пирамидообразные элементы, имеющие замкнутые плоские многоугольные основания и составленные из четырехугольных облочечек двойкой кривизны с прямыми кромками, плоские многоугольные основания пирамидообразных элементов состыкованы в центральной осевой вершине, из которой восстановлено центральное осевое ребро; причем из крайней вершины центрального осевого ребра, расположенной вне плоскости многоугольных оснований, исходит пучок равных по длине радиальных ребер, расположенных в плоскостях зеркальной симметрии каждого из пирамидообразных элементов; при этом крайняя вершина каждого радиального ребра состыкована с вершиной соответствующего пирамидообразного элемента и соединена пучком наклонных ребер с его многоугольным основанием.

В модуле составном вершина каждого из пирамидообразных элементов может быть соединена пучком наклонных ребер: -со всеми сторонами его многоугольного основания (рисунок 118,а-в); -с серединой дальней стороны и боковыми сторонами его многоугольного основания (рисунок 118,е); -с чередующимися вершинами многоугольного основания (рисунок 118,г); -со смежными боковыми сторонами и наиболее удаленной от центра вершиной его многоугольного основания (рисунок 118,д).

**Купол пирамидообразный (заявка № 2022100388 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение общей и местной жесткости при уменьшении габаритов

составляющих оболочек за счет введения во внутреннюю структуру заявляемого купола пирамидообразного дополнительных сборных элементов- складок и ребер жесткости. Он достигается за счет того, что в куполе пирамидообразном, включающем однотипные элементы, составленные из четырехугольных оболочек двойкой кривизны с прямыми кромками, образующими контурные участки плоского многоугольного основания, а также ребра, наклонные к основанию и стыкующиеся в центральной осевой вершине, каждый элемент составлен из двух боковых и центральной оболочек, состыкованных с образованием внутренней вершины, расположенной в уровне между плоским многоугольным основанием и центральной осевой вершиной и соединенной парой внутренних ребер с его наклонными боковыми кромками, а также радиальным ребром с близлежащей угловой вершиной многоугольного основания.

На рисунке 118,и изображен общий вид купола пирамидообразного, имеющего четырехугольное плоское основание.

**Купол пирамидообразный (заявка № 2022100393 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом,на достижение которого направлено решение, является увеличение общей и местной жесткости при уменьшении габаритов составляющих оболочек за счет введения во внутреннюю структуру заявляемого купола пирамидообразного дополнительных сборных элементов- складок и ребер жесткости. Он достигается за счет того, что в куполе пирамидообразном, включающем однотипные элементы, составленные из четырехугольных оболочек двойкой кривизны с прямыми кромками, образующими контурные участки плоского многоугольного основания, а также ребра, наклонные к основанию и стыкующиеся в центральной осевой вершине, каждый элемент составлен из двух боковых и центральной оболочек, состыкованных с образованием внутренней вершины, расположенной в уровне между плоским многоугольным основанием и центральной осевой вершиной и соединенной радиальным ребром с центральной осевой вершиной купола, а также парой ребер с близлежащими участками многоугольного основания купола.

На рисунке 118,ж изображен общий вид купола пирамидообразного, имеющего шестиугольное плоское основание.

**Покрытие радиальное** (*заявка № 2022100396 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22*).

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение местной жесткости контурных участков покрытия, а также возможность перекрывать план криволинейного очертания. Он достигается тем, что в покрытии радиальном, очерченном симметричным пространственным многоугольным контуром и включающем пары зеркально симметричных четырехугольных оболочек двоякой кривизны, состыкованные с образованием осевого ребра, из противоположащих вершин которого исходят пучки радиальных ребер с равными межреберными углами, развернутые относительно друг друга на половину угла между смежными ребрами и соединенные с многоугольным контуром, близлежащие крайние вершины радиальных ребер обоих пучков попеременно соединены дугообразными контурными кромками, а оболочки выполнены в виде зеркально симметричных отсеков коноида.

На рисунке 118,к изображен общий вид покрытия радиального, очерченного дугообразными контурными кромками.

**Модуль строительный** (*заявка № 2022100392 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22*).

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение объема подкупольного пространства, а также общей и местной жесткости модуля в его контурных зонах. Он достигается тем, что в модуле строительном, включающем четырехугольные оболочки двоякой кривизны с прямыми кромками, состыкованные по кромкам с образованием замкнутого шестиугольного основания, где в три вершины основания через одну установлены Г-образные ребра, радиальные стороны которых состыкованы в центральной осевой вершине, расположенной вне плоскости основания, а середины боковых сторон Г-образных ребер, примыкающих к шестиугольному основанию, последовательно соединены в замкнутое срединное треугольное ребро, очерченное прямолинейными сторонами, центры которых соединены

промежуточными ребрами с радиальными сторонами соседних Г-образных ребер, центральной осевой вершиной и шестиугольным основанием, в промежуточные вершины шестиугольного основания между соседними Г-образными ребрами установлены пары зеркально симметричных четырехугольных оболочек двойкой кривизны с прямыми кромками, состыкованных по дополнительным Г-образным ребрам, установленным в промежуточные вершины основания и соединенным своими радиальными сторонами с центрами соответствующих сторон срединного треугольного ребра.

На рисунке 122,б,г изображены разновидности модуля строительного с шестиугольным основанием, имеющие различное расположение промежуточных ребер. На основе модуля могут быть образованы плоскостные структурные плиты, а также составные пространственные структуры сводчатой, куполообразной и более сложной конфигурации.

**Модуль строительный (заявка № 2022100389 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение объема подкупольного пространства, а также общей и местной жесткости модуля в его контурных зонах. Он достигается тем, что в модуле строительном, включающем четырехугольные оболочки двойкой кривизны с прямыми кромками, состыкованные по кромкам с образованием замкнутого многоугольного основания, в середину каждой стороны которого установлены Г-образные ребра, радиальные стороны которых состыкованы в центральной осевой вершине, расположенной вне плоскости основания, а середины боковых сторон Г-образных ребер, примыкающих к многоугольному основанию, последовательно соединены в замкнутое срединное многоугольное ребро, очерченное прямолинейными сторонами, центры которых соединены промежуточными ребрами с радиальными сторонами близлежащих соседних Г-образных ребер, центральной осевой вершиной и многоугольным основанием, в каждую угловую вершину многоугольного основания установлены пары зеркально симметричных четырехугольных оболочек двойкой кривизны с прямыми кромками, состыкованных по дополнительным Г-образным ребрам, ус-

тановленным в вершины основания и соединенным своими радиальными сторонами с центрами соответствующих сторон срединного многоугольного ребра. На рисунках 123,б,г и 124,б,г, а также рисунке 125,г,д изображены разновидности модуля строительного с квадратным, шестиугольным и треугольным основанием, имеющие различное расположение промежуточных ребер. На основе модуля могут быть образованы плоскостные структурные плиты, а также составные пространственные структуры сводчатой, куполообразной и более сложной конфигурации.

**2. Структурные плиты.** Значение таких строительных элементов, как *структурные плиты*, для многих сфер современной промышленности чрезвычайно велико: данные элементы зданий и сооружений, совмещая несущие и ограждающие функции, незаменимы при использовании в качестве конструкций междуэтажных большепролетных перекрытий, несущих перегородок и стеновых ограждений со сложнокомбинированным/экстремальным характером нагружения (стеновые несущие конструкции энергетических блоков АЭС, подземных и подводных транспортных сооружений и проч.). Составные пространственные конструкции тонкостенных покрытий и ограждений имеют плоскостное, сводчатое и куполообразное очертание. [Регулярные структурные плиты могут иметь отнюдь не только строительное назначение; они также могут быть эффективными в других отраслях промышленного дизайна, например, в качестве жестких перегородок, панелей или ограждающих оболочек/корпусов разнообразных машин и механизмов].

Общий формообразующий принцип создания эффективных технических решений структурных плит заключается в формировании *одного или двух складчатых слоев из модульных четырехугольных отсеков поверхностей двоякой отрицательной кривизны, формирующих два или три ячеистых пояса, расположенных в параллельных плоскостях, каждый из которых образован многоугольными ячейками одного или двух типов, и связанных между собой сетью внутренних диагональных ребер, создающих жесткую геометрически неизменяемую складчатую/ячеистую структуру.*

*Структурные плиты однослойные (содержат основной складчатый слой, образованный линейчатыми оболочками и ограниченный двумя противоположащими контурными ячеистыми поясами, расположенными в параллельных плоскостях).*

**Патент 204908 РФ, МПК E04B 7/20. Плита структурная / А.В.Коротич (РФ). - № 2021105749; Заявл. 05.03.21; Оpubл. 17.06.21; Бюл. № 17.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение местной и общей жесткости заявляемой плиты структурной за счет введения дополнительных ребер жесткости и придания результирующей объемной структуре конструкции полной геометрической неизменяемости. Он достигается тем, что в плите структурной, включающей состыкованные друг с другом четырехугольные оболочки двойкой кривизны с прямыми кромками, смежные из которых соединены по кромкам в сплошной складчатый слой, ограниченный двумя ребристыми ячеистыми поясами, где один пояс образован ортогональными квадратными ячейками, а противоположащий-диагональными квадратными ячейками; причем каждая диагональная ячейка одного пояса расположена над четырьмя ортогональными квадратными ячейками противоположащего пояса; при этом вершины любой диагональной ячейки одного пояса соединены нормальными ребрами с двумя несмежными вершинами соответствующей противоположащей ортогональной квадратной ячейки другого пояса, а середина любого ребра каждой из диагональных квадратных ячеек одного пояса соединена двумя парами внутренних ребер с четырьмя близлежащими сторонами соответствующей противоположащей ортогональной квадратной ячейки другого пояса.

На рисунках 119,в,д- общий вид плиты структурной; на рисунке 119,г- геометрическая компоновочная схема фрагмента плиты.

**Патент 204604 РФ, МПК E04C 2/30. Плита структурная / А.В.Коротич (РФ). - № 2021105750; Заявл. 05.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение местной и общей жесткости заявляемой плиты структурной за счет введения дополнительных ребер жесткости и придания результи-

рующей объемной структуре конструкции полной геометрической неизменяемости. Он достигается тем, что в плите структурной, включающей состыкованные друг с другом четырехугольные оболочки двойкой кривизны с прямыми кромками, смежные из которых соединены по кромкам в сплошной складчатый слой, ограниченный двумя ребристыми ячеистыми поясами, где один пояс образован треугольными ячейками, а противолежащий - ромбовидными; причем каждая пара вершин любой треугольной ячейки одного пояса соединена нормальными ребрами с двумя наиболее отдаленными друг от друга вершинами соответствующей противолежащей ромбовидной ячейки другого пояса, а середина любого ребра каждой из треугольных ячеек одного пояса соединена двумя парами внутренних ребер с четырьмя близлежащими сторонами соответствующей противолежащей ромбовидной ячейки другого пояса.

На рисунках 119,а- общий вид плиты структурной; на рисунке 119,б- геометрическая компоновочная схема фрагмента плиты.

*Структурные плиты двухслойные (содержат два складчатых слоя, ограниченных двумя противолежащими контурными ячеистыми поясами, между которыми расположен срединный ячеистый пояс, образованный ребрами стыковки складчатых слоев).*

**Патент 202447 РФ, МПК E04B 1/32. Плита структурная / А.В.Коротич (РФ). - № 2020137458; Заявл. 16.11.20; Опубл. 18.02.21; Бюл. № 5.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение конструктивной высоты составной конструкции плиты при сохранении либо уменьшении габаритов составляющих оболочек, а также повышение ее местной и общей жесткости. Он достигается за счет того, что в плите структурной, включающей четырехугольные оболочки двойкой кривизны, очерченные прямолинейными боковыми кромками и соединенные друг с другом по кромкам с образованием противолежащих контурных ячеистых поясов, середины сторон ячеек которых соединены внутренними нормальными ребрами, оболочки расположены в двух состыкованных по ребрам сплошных слоях; при этом наружные контурные кромки оболочек одного из слоев образуют шестиугольные ячейки одного контурного пояса, наружные контур-

ные кромки оболочек другого слоя образуют треугольные ячейки противоположащего контурного пояса; причем вершины каждой из треугольных ячеек одного из контурных поясов расположены над центрами трех смежных шестиугольных ячеек противоположащего контурного пояса; при этом центры соседних нормальных ребер попарно соединены диагональными серединными ребрами, в совокупности образующими серединный пояс плиты из чередующихся треугольных и шестиугольных ячеек, а центры каждого диагонального серединного ребра дополнительно соединены внутренними ребрами с обоими контурными поясами.

В плите структурной центр каждого диагонального серединного ребра соединен: -двумя парами внутренних ребер с близлежащими сторонами многоугольных ячеек противоположащих контурных поясов (рисунок 121,а); -парой внутренних ребер с двумя близлежащими сторонами многоугольной ячейки какого-либо из поясов, и одним внутренним ребром- с близлежащей вершиной многоугольной ячейки противоположащего контурного пояса (рисунок 121,в).

**Патент 202448 РФ, МПК E04B 1/32. Плита структурная / А.В.Коротич (РФ). - № 2020137459; Заявл. 16.11.20; Оpubл. 18.02.21; Бюл. № 5.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение конструктивной высоты составной конструкции плиты при сохранении либо уменьшении габаритов составляющих оболочек, а также повышение ее местной и общей жесткости. Он достигается за счет того, что в плите структурной, включающей четырехугольные оболочки двойкой кривизны, очерченные прямолинейными боковыми кромками и соединенные друг с другом по кромкам с образованием противоположащих контурных ячеистых поясов, одинаковые квадратные ячейки которых смещены относительно друг друга так, что вершины одного пояса расположены над центрами ячеек другого пояса, а середины сторон ячеек противоположащих поясов соединены внутренними нормальными ребрами, оболочки расположены в двух состыкованных по ребрам сплошных слоях; при этом центры соседних нормальных ребер попарно соединены диагональными серединными ребрами с образованием диагональных квадратных ячеек серединного пояса плиты, а центры каждого

диагонального срединного ребра дополнительно соединены внутренними ребрами с обоими контурными поясами.

В плите структурной центр каждого диагонального срединного ребра может быть соединен: -двумя парами внутренних ребер с близлежащими сторонами квадратных ячеек противолежащих контурных поясов (рисунок 120,д); -парой внутренних ребер с двумя близлежащими сторонами квадратной ячейки какого-либо из поясов, и одним внутренним ребром- с близлежащей вершиной ячейки противолежащего контурного пояса (рисунок 120,е).

**Патент 204592 РФ, МПК E04B 1/32. Плита структурная / А.В.Коротич (РФ). - № 2021105751; Заявл. 05.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение конструктивной высоты составной конструкции плиты при сохранении либо уменьшении габаритов составляющих оболочек, а также повышение ее местной и общей жесткости. Он достигается за счет того, что в плите структурной, включающей четырехугольные оболочки двойкой кривизны, очерченные прямолинейными боковыми кромками и соединенные друг с другом по кромкам с образованием противолежащих контурных ячеистых поясов, ячейки которых смещены относительно друг друга, оболочки расположены в двух состыкованных по ребрам сплошных слоях; при этом наружные контурные кромки оболочек обоих слоев образуют противолежащие контурные пояса из одинаковых шестиугольных ячеек, смещенных относительно друг друга так, что вершины ячеек обоих поясов через одну попарно соединены нормальными ребрами; при этом центры соседних нормальных ребер попарно соединены диагональными срединными ребрами с образованием треугольных ячеек срединного пояса плиты, а центры каждого диагонального срединного ребра дополнительно соединены внутренними ребрами с обоими контурными поясами. При этом в плите структурной центр каждого диагонального срединного ребра может быть соединен: -двумя парами внутренних ребер с близлежащими сторонами шестиугольных ячеек противолежащих контурных поясов (рисунок 120,а); -парой внутренних ребер с двумя близлежащими сторонами шестиугольной ячейки какого-либо из поясов, и одним внут-

ренним ребром- с близлежащей вершиной шестиугольной ячейки противоположащего контурного пояса (рисунок 120,в).

*Структурные плиты двухслойные с усиленным срединным ячеистым поясом (содержат оболочки, сопряженные с одним из складчатых слоев, обуславливающие дополнительное подразделение ячеек срединного пояса складками и ребрами на более мелкие части, что значительно усиливает несущую способность и повышает надежность работы конструкции при динамических и комбинированных нагрузках).*

**Плита структурная (заявка № 2022100390 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение жесткости плиты структурной и надежности ее работы в срединной зоне конструкции при сложном характере нагружения. Он достигается тем, что в плите структурной, включающей четырехугольные оболочки двойкой кривизны, очерченные прямолинейными боковыми кромками и соединенные друг с другом по кромкам с образованием противоположащих контурных ячеистых поясов, ячейки которых смещены относительно друг друга, а оболочки расположены в двух состыкованных по ребрам сплошных складчатых слоях; при этом наружные контурные кромки оболочек обоих слоев образуют противоположащие контурные пояса из одинаковых шестиугольных ячеек, смещенных относительно друг друга так, что вершины ячеек обоих поясов через одну попарно соединены нормальными ребрами; при этом центры соседних нормальных ребер попарно соединены диагональными срединными ребрами с образованием треугольных ячеек срединного пояса плиты, а центры каждого диагонального срединного ребра дополнительно соединены внутренними ребрами с обоими контурными поясами, в уровне одного из складчатых слоев в чередующиеся вершины соединения трех ребер смежных шестиугольных ячеек соответствующего пояса через одну установлены по три пары зеркально симметричных оболочек двойкой кривизны с прямыми кромками; причем каждые три пары состыкованы с образованием центрального нормального ребра, исходящего из их общей вершины до уровня срединного пояса

плиты, где крайняя вершина центрального нормального ребра соединена тремя радиальными ребрами с центрами близлежащих диагональных ребер срединного пояса плиты; при этом соответствующие треугольные ячейки срединного пояса плиты, расположенные в шахматном порядке, дополнительно подразделены на три четырехугольные ячейки. На рисунке 122,а,в изображены компоновочные схемы фрагмента плиты структурной с выделенным геометрическим построением дополнительного подразделения складчатой структуры одного из слоев и различным расположением внутренних ребер.

**Плита структурная (заявка № 2022100392 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение жесткости плиты структурной и надежности ее работы в срединной зоне конструкции при сложном характере нагружения. Он достигается тем, что в плите структурной, включающей четырехугольные оболочки двойкой кривизны, очерченные прямолинейными боковыми кромками и соединенные друг с другом по кромкам с образованием противолежащих контурных ячеистых поясов, одинаковые квадратные ячейки которых смещены относительно друг друга так, что вершины одного пояса расположены над центрами ячеек другого пояса, а середины сторон ячеек противолежащих поясов соединены внутренними нормальными ребрами, а оболочки расположены в двух состыкованных по ребрам сплошных складчатых слоях; при этом центры соседних нормальных ребер попарно соединены диагональными срединными ребрами с образованием диагональных квадратных ячеек срединного пояса плиты, а центры каждого диагонального срединного ребра дополнительно соединены внутренними ребрами с обоими контурными поясами, в уровне одного из складчатых слоев в каждую вершину соединения четырех ребер смежных квадратных ячеек соответствующего пояса установлены по четыре пары зеркально симметричных оболочек двойкой кривизны с прямыми кромками; причем каждые четыре пары состыкованы с образованием центрального нормального ребра, исходящего из их общей вершины до уровня срединного пояса плиты, где крайняя вершина центрального нормального

ребра соединена четырьмя радиальными ребрами с центрами близлежащих диагональных ребер срединного пояса плиты; при этом соответствующие диагональные квадратные ячейки срединного пояса плиты, расположенные в шахматном порядке, дополнительно подразделены на четыре квадратные ячейки. На рисунках 123,а,в,д изображены общий вид, а также компоновочные схемы фрагмента плиты структурной с выделенным геометрическим построением дополнительного подразделения складчатой структуры одного из слоев и различным расположением внутренних ребер.

**Плита структурная (заявка № 2022100381 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение жесткости плиты структурной и надежности ее работы в срединной зоне конструкции при сложном характере нагружения. Он достигается тем, что в плите структурной, включающей четырехугольные оболочки двойкой кривизны, очерченные прямолинейными боковыми кромками и соединенные друг с другом по кромкам с образованием противолежащих контурных ячеистых поясов, середины сторон ячеек которых соединены внутренними нормальными ребрами, а оболочки расположены в двух состыкованных по ребрам сплошных складчатых слоях, где наружные контурные кромки оболочек одного из слоев образуют шестиугольные ячейки одного контурного пояса, а наружные контурные кромки оболочек другого слоя образуют треугольные ячейки противолежащего контурного пояса; причем вершины каждой из треугольных ячеек одного из контурных поясов расположены над центрами трех смежных шестиугольных ячеек противолежащего контурного пояса; при этом центры соседних нормальных ребер попарно соединены диагональными срединными ребрами, в совокупности образующими срединный пояс плиты из чередующихся треугольных и шестиугольных ячеек, а центры каждого диагонального срединного ребра дополнительно соединены внутренними ребрами с обоими контурными поясами, в уровне одного из складчатых слоев в каждую из вершин соединения трех ребер смежных шестиугольных ячеек соответствующего пояса установлены по три пары зеркально сим-

метричных оболочек двойкой кривизны с прямыми кромками; причем каждые три пары состыкованы с образованием центрального нормального ребра, исходящего из их общей вершины до уровня срединного пояса плиты, где крайняя вершина центрального нормального ребра соединена тремя радиальными ребрами с центрами близлежащих диагональных ребер срединного пояса плиты; при этом все треугольные ячейки срединного пояса плиты дополнительно подразделены на три четырехугольные ячейки. На рисунке 124, а, в изображены компоновочные схемы фрагмента плиты структурной с выделенным геометрическим построением дополнительного подразделения складчатой структуры одного из слоев и различным расположением внутренних диагональных ребер.

**Плита структурная (заявка № 2022100384 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является повышение жесткости плиты структурной и надежности ее работы в срединной зоне конструкции при сложном характере нагружения. Он достигается тем, что в плите структурной, включающей четырехугольные оболочки двойкой кривизны, очерченные прямолинейными боковыми кромками и соединенные друг с другом по кромкам с образованием противоположащих контурных ячеистых поясов, середины сторон ячеек которых соединены внутренними нормальными ребрами, а оболочки расположены в двух состыкованных по ребрам сплошных складчатых слоях, где наружные контурные кромки оболочек одного из слоев образуют шестиугольные ячейки одного контурного пояса, а наружные контурные кромки оболочек другого слоя образуют треугольные ячейки противоположащего контурного пояса; причем вершины каждой из треугольных ячеек одного из контурных поясов расположены над центрами трех смежных шестиугольных ячеек противоположащего контурного пояса; при этом центры соседних нормальных ребер попарно соединены диагональными срединными ребрами, в совокупности образующими срединный пояс плиты из чередующихся треугольных и шестиугольных ячеек, а центры каждого диагонального срединного ребра дополнительно соединены внут-

ренными ребрами с обоими контурными поясами, в уровне одного из складчатых слоев в каждую из вершин соединения шести ребер смежных треугольных ячеек соответствующего пояса установлены по шесть пар зеркально симметричных оболочек двойкой кривизны с прямыми кромками; причем каждые шесть пар состыкованы с образованием центрального нормального ребра, исходящего из их общей вершины до уровня срединного пояса плиты, где крайняя вершина центрального нормального ребра соединена шестью радиальными ребрами с центрами близлежащих диагональных ребер срединного пояса плиты; при этом все шестиугольные ячейки срединного пояса плиты дополнительно подразделены на шесть четырехугольных ячеек.

На рисунке 125,а изображена компоновочная схема фрагмента плиты; на рисунке 125,б,в показаны геометрическая компоновочная схема шестиугольного элемента плиты и его вид сверху.

**3. Элементы каркаса зданий и сооружений.** Данные компоненты строительных объектов имеют плоскостное, сводчатое или купольное очертание и выполняют функцию несущих сборных деталей стоечно-балочной, арочной и купольной систем- вертикальных, наклонных или многолучевых сплошных или решетчатых опор, балок, арок, порталных рам, структурных плит, малых форм средового дизайна и т.п.

**Патент 116536 РФ, МПК E04C 3/04. Элемент каркаса зданий и сооружений / А.В.Коротич (РФ). - № 2011152374/03; Заявл. 21.12.11; Опубл. 27.05.12; Бюл.№ 15.** Техническим результатом, на достижение которого направлено предложенное решение, является увеличение местной и общей жесткости элемента каркаса зданий и сооружений. Он достигается тем, что в элементе каркаса зданий и сооружений, включающем линейчатые оболочки, соединенные по кромкам с образованием радиально расположенных пространственных лучей, каждый пространственный луч элемента имеет ромбовидное основание и образован четырьмя оболочками в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида с прямолинейными кромками, соединенными с образованием П-образного ребра, две крайние вершины которого установлены в противолежащие вершины ромбовидного основания; причем две другие про-

тиволежащие вершины ромбовидного основания соединены ребрами с серединой центрального участка П-образного ребра; при этом составляющие лучи объединены в элемент по кромкам ромбовидных оснований.

На рисунке 129,д показан общий вид четырехлучевого элементов каркаса зданий и сооружений; на рисунках 129,в,г изображены разновидности элемента каркаса, имеющего пяти- и шестилучевое звездчатое очертание (вид сверху); на рисунках 129, а,б показан общий вид двухлучевого элемента каркаса и его вид сбоку.

**Патент 117940 РФ, МПК E04B 1/00. Элемент строительный / А.В. Коротич (РФ). - № 2012101522/03; Заявл. 16.01.12; Опубл. 10.07.12; Бюл. № 19.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено предложенное решение, является увеличение местной и общей жесткости составной конструкции каркаса зданий. Он достигается тем, что в элементе строительном, включающем состыкованные друг с другом линейчатые оболочки в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида с прямыми кромками, оболочки элемента состыкованы по кромкам с образованием двух подобных многоугольных оснований, расположенных друг над другом, соответствующие угловые вершины которых попарно соединены угловыми ребрами, а также центральной вершины, расположенной в срединной плоскости элемента и соединенной радиальными ребрами с серединами угловых ребер; при этом центральная вершина соединена парами внутренних ребер с серединами соответствующих сторон обоих многоугольных оснований.

На рисунке 127,а- общий вид элемента строительного с треугольными основаниями; рисунки 127,б,в- элемент строительный с треугольными основаниями, а также трехлучевыми звездчатыми основаниями (виды сверху); рисунки 127,г,д,е- компоновка элементов в однослойной решетчатой и сплошной структурной плите (общий вид и виды сверху); рисунок 127,ж- схема компоновки элементов в двухслойной плоскостной структурной плите (вид сбоку); рисунок 127,з- схема компоновки элементов в однослойной решетчатой куполообразной структуре; рисунок 127,и- варианты элементов с квадратным, пя-

ти- и шестиугольным основаниями, а также с четырех-, пяти- и шестилучевыми звездчатыми основаниями.

Плоскостные структурные плиты и пространственные структуры сводчатой, куполообразной и сложной формы могут выполняться многослойными с целью увеличения структурной высоты; при этом многоугольные основания элементов одного слоя примыкают к кромкам сквозных проемов смежного слоя и жестко соединены с ними.

**Элемент каркаса зданий (заявка № 2022100386 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является увеличение местной и общей жесткости элемента каркаса зданий и сооружений за счет введения дополнительных ребер жесткости и придания результирующей объемной структуре элемента полной геометрической неизменяемости. Он достигается тем, что в элементе каркаса зданий, включающем четырехугольные оболочки двойкой кривизны с прямыми контурными кромками, соединенные по кромкам с образованием конструкции коробчатого поперечного сечения, оболочки элемента соединены в замкнутые трубчатые кольцевые ярусы с поперечными многоугольными основаниями, состыкованные по кромкам оснований вдоль продольной оси элемента и составленные из боковых складчатых блоков; при этом каждый складчатый блок состоит из двух боковых складок, образованных двумя парами состыкованных контурных оболочек; причем к внутренним кромкам обеих боковых складок каждого блока присоединена центральная ромбовидная оболочка, крайние вершины которой совмещены с серединами противоположащих сторон блока.

На рисунке 128,а,б изображены общий вид элемента каркаса зданий (фрагмент), а также его возможное квадратное поперечное сечение (каждый трубчатый ярус содержит по четыре складчатых блока).

**Элемент решетчатый (заявка № 2022100391 на выдачу патента РФ на полезную модель от 12.01.22).**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является упрощение узловых соединительных деталей конструкции, а также

снижение трудоемкости монтажа элемента решетчатого за счет использования унифицированных краевых соединительных гофров-отгибов заводского изготовления. Он достигается тем, что в элементе решетчатом, включающем профилированные пояса, жестко соединенные с размещенными между ними профилированными раскосами, все профилированные раскосы снабжены краевыми гофрами-отгибами, поперечное сечение которых соответствует профилю примыкающих поясов; при этом раскосы соединены с соответствующими примыкающими поясами по контактными поверхностям гофров-отгибов.

На рисунке 128,в изображен элемент решетчатый в ортогональных проекциях (вид спереди и сбоку). На рисунке 128,г изображен профилированный раскос элемента решетчатого, снабженный краевыми гофрами-отгибами (общий вид). На рисунках 128,д-ж изображены возможные очертания профилированных раскосов элемента решетчатого с краевыми отгибами (вид сбоку).

### **3.5. Складчатые и решетчатые структуры как компоненты интерьерного, средового и промышленного дизайна**

*«Фрактальные решетки.* Сегодня приходится констатировать- гигантский художественный потенциал фрактальных структур в интерьерах зданий и сооружений практически не раскрыт даже на одну десятую. Основные направления их формообразования- создание решетчатых/сетчатых модульных элементов- регулярных фрактальных структур в виде соосных разновеликих правильных многоугольников, вставленных друг в друга и развернутых до соприкосновения со смежными деталями. Полученные фрактальные решетчатые модули имеют широкие компоновочные возможности: они могут образовывать плоскостные, сводчатые, купольные (в т.ч. формы замкнутых многогранников) и сложные по очертанию составные структуры, способные рассеивать звуковые волны широкого диапазона частот; при этом за решеткой может располагаться эффективный звукопоглощающий пористый материал, повышающий общую акустическую эффективность двухслойной конструкции. Эффективны фрактальные решетки в качестве навесных плоскостных пристенных конструкций-жалюзи, защищающих помещения от прямого солнечного света. Они являются сильной художественной альтернативой элементарным решеткам с

однородной симметричной регулярной структурой [83], [95]-[99], вызывающей ощущение угнетающей монотонности. Выразительную фрактально-торсионную решетчатую структуру могут иметь целые холлы/атриумы уникальных зданий (рисунок 140, вверху).

***Складчатые звукорассеивающие оболочки в зальных общественных интерьерах.*** Создание комфортного акустического режима зальных помещений общественных зданий сегодня абсолютно невозможно без использования новых прогрессивных конструктивно-технологических решений эффективных звукорассеивающих и поглощающих складчатых интерьерных оболочек, имеющих составную/дискретную регулярную структуру.

Данная сфера использования эффективных складчатых структур является сравнительно новой и абсолютно неизученной. Здесь для исследователей и изобретателей открыто огромное поле научно-экспериментальной деятельности- выявление и технический анализ неизвестных на сегодняшний день особых акустических эффектов, а также разработка новаторских решений, сулящих гигантские практические перспективы в важнейшей сфере создания оптимальной и многовариантной интерьерной акустики, а также конструктивной корректировки неудачных акустических параметров зальных помещений.

Большое практическое будущее принадлежит складчатым поглощающим акустическим модулям, изготавливаемым прессованием пористых материалов (минеральной ваты, жесткого пенополиуретана и проч.).

В настоящее время имеется лишь один технически эффективный прецедент практического использования складчатых крупноразмерных акустических оболочек в зальном интерьере. Автором создана форма уникального звукорассеивающего потолка Камерного театра в г.Екатеринбурге (арх.А.А.Пташник, констр.В.Грачев), содержащего трапециевидные складки метровой величины из двухслойного гипсоволокнистого листа и способного рассеивать звуковые волны широкого диапазона частот. Архитектурный облик потолка также является уникальным (рисунок 10,б-в). Это яркий пример удачного сочетания художественной выразительности и технической эффективности (высокой звуко-рассеивающей способности) в объекте интерьерного дизайна.

Иная концепция заложена в решение сводчатого потолка с эффективной складчатой пластинчато-стрержневой структурой, включающей тонкостенные шестигранные пирамиды, расположенные в шахматном порядке и состыкованные вершинами шестиугольных оснований, между которыми расположены треугольные грани; при этом вершины пирамид соединены трубчатым каркасом, образующим ромбовидные ячейки (рисунок 140, внизу).

Наряду с плоскогранными складчатыми оболочками для создания прогнозируемых акустических эффектов и корректировки акустических недостатков зальных помещений могут эффективно использоваться акустические звукорассеивающие экраны в виде линейчатых элементов отрицательной гауссовой кривизны. Характерная особенность геометрии данных оболочек заключается в том, что пучки звуковых волн (параллельных или конических), попав на их поверхность, отражаются не направленно, а рассеянно, никогда не фокусируясь в пространстве после отражения от поверхности двойкой отрицательной кривизны. Экспериментальная проверка акустических качеств складчатых и линейчатых оболочек может быть чрезвычайно актуальной как для целей архитектурно-строительной индустрии так и развития акустической науки: она позволит выявить огромный комплекс до сих пор неизвестных полезных акустических эффектов и в итоге создать спектр новых изобретательских конструктивно-технологических разработок. Этот эффективный инструмент будет необходим и, несомненно, востребован для решения разнообразных акустических и архитектурно-художественных задач проектирования и практического осуществления зальных интерьеров.

На сегодняшний день автором предложены и запатентованы новые решения звукорассеивающих оболочек (диффузоров) для зальных интерьеров общественных зданий, позволяющих создавать переменный акустический режим помещения, а также направленные звуковые эффекты за счет использования особых механизмов многовариантной трансформации складок, а также за счет применения составных складчатых систем, состоящих из тонкостенных панелей формы гиперболического параболоида или коноида.

Предлагаемые к использованию складчатые оболочки способны образо-

вывать широкий спектр конфигураций (плоскостные, конические, купольные, сводчатые, геликоидальные, гиперболические и др.) и приемлемы для моделирования как потолочных так и настенных акустических экранов, козырьков и навесов для улучшения/корректировки акустических свойств помещений.

**Патент 83263 РФ, МПК E04C 2/24. Экран звукорассеивающий / А.В. Коротич (РФ). - № 2008153035/22; Заявл. 31.12.08; Оpubл. 27.05.09; Бюл.15.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено предложенное решение, является улучшение звукорассеивающих качеств экрана, а также создание различных акустических режимов помещения путем регулирования направления отражения звуковых волн. Он достигается тем, что звукорассеивающий экран, включающий соединенные криволинейные панели, образован линейчатыми оболочками отрицательной гауссовой кривизны, составленными в ряд, где смежные оболочки объединены врезкой по единой продольной осевой образующей; при этом узлы врезки смежных оболочек выполнены шарнирными с возможностью поворота оболочек относительно друг друга на заданный угол вокруг оси, а лицевая сторона линейчатых оболочек выполнена гофрированной. На рисунке 128,3- общий вид звукорассеивающего экрана из составленных в ряд гиперболических оболочек.

Действие устройства осуществляется следующим образом. Линейчатые оболочки вращают вокруг оси на заданный угол при помощи деталей с образованием многочисленных результирующих форм экрана. При совмещении боковых кромок оболочек с поверхностью аналогичных смежных оболочек образуется единая винтообразная форма экрана, аппроксимирующая поверхность геликоида. В других случаях между смежными оболочками образуются клиновидные промежутки, а результирующие формы экрана являются крупноскладчатыми. При этом высокая звукорассеивающая способность экрана обеспечивается как его многочисленными пространственными конфигурациями так и пропеллерообразной формой оболочек (поверхность отрицательной гауссовой кривизны при попадании на нее пучка параллельных волн рассеивает их веерообразно, т.е. исключает образование однонаправленных отражений), благодаря чему в помещении устанавливается равномерное звуковое поле а, сле-

довательно, формируется благоприятный акустический режим. Короткие волны слышимого диапазона рассеиваются мелкими гофрами лицевой поверхности оболочек. В случае жесткого крепления оболочек к стержневому элементу последний поворачивают вокруг оси на заданный угол, регулируя направление звуковых отражений.

Применение в предложенном звукорассеивающем экране оболочек отрицательной гауссовой кривизны, а также возможность их выборочного поворота относительно друг друга позволяют создавать многочисленные отражающие формы, повышающие рассеивание звука, что обеспечивает возможность регулирования акустического режима помещения в широком диапазоне и создание комфортной акустической среды интерьера. При этом повышается универсальность экрана для использования в различных типах общественных зданий. Врезка криволинейных оболочек друг в друга по единой осевой образующей обеспечивает геометрическую стабильность структуры в осевой зоне при различных углах поворота оболочек и способствует удобству трансформации экрана в процессе эксплуатации.

**Патент 205022 РФ, МПК E04B 7/00. Модуль пирамидообразный / А. В. Коротич (РФ). - № 2021106508; Заявл. 12.03.21; Опубл. 23.06.21; Бюл.18.**

Технический результат, на достижение которого направлено решение - снижение трудоемкости изготовления модуля путем сокращения типоразмеров и уменьшения количества составляющих элементов, а также повышение звукорассеивающей способности составной складчатой структуры.

Он достигается тем, что в модуле пирамидообразном, составленном из пар зеркально симметричных четырехугольных оболочек двойкой кривизны, состыкованных по кромкам с образованием звездчатого многолучевого основания из равных прямолинейных участков и центральной осевой вершины, расположенной вне плоскости основания и соединенной с основанием пучком наклонных радиальных ребер, каждый луч содержит по две зеркально симметричные оболочки, состыкованные по радиальному прямолинейному ребру.

В модуле пирамидообразном радиальные ребра соединения лучей могут быть выполнены прямолинейными, где: -радиальное наклонное прямоли-

нейное ребро стыковки двух оболочек внутри каждого луча соединяет центральную осевую вершину с серединой наиболее удаленной стороны звездчатого основания (рисунок 126,в); -радиальное наклонное прямолинейное ребро стыковки двух оболочек внутри каждого луча соединяет центральную осевую вершину с наиболее удаленной вершиной звездчатого основания (рисунок 126,д). В модуле пирамидообразном радиальные ребра соединения лучей выполнены в виде одинаковых плоских выпуклых дуг (рисунки 126,г,е).

Модуль пирамидообразный может выполняться с трех- или четырехлучевым крестообразным звездчатым основанием и составлен из четырехугольных оболочек двойкой кривизны- гиперболического параболоида и коноида.

Модули пирамидообразные способны плотнейшим образом стыковаться друг с другом по кромкам оснований (рисунки 126,ж), образуя сплошные складчатые покрытия/экраны с активным рельефом звукорассеивающей поверхности стен и потолков (рисунки 126,а-б), способствующим созданию равномерного звукового поля зальных интерьеров» [328], [335], [378], [379].

***Малые формы интерьерного и средового дизайна.*** Данные структуры приобрели большую популярность благодаря уникальным проектам и постройкам С.Калатравы, выполненным знаменитым испанским конструктором и зодчим в 1990-е годы [101]. Сегодня композиционные перспективы развития оболочек данного типа заключаются в разработке линейчатых структур с криволинейными контурными кромками, имеющих динамичный силуэт; при этом линейчатые образующие формируют выразительные веерообразные рисунки внутри контурных кромок. Функциональное назначение решетчатых легких конструкций- структурные зонтичные навесы над перронами авто- и железнодорожных вокзалов и аэропортов, солнцезащитные навесы, входные группы, малые архитектурные формы- скульптуры, фонтаны, фирменные знаки, а также решетчатые структуры подвесных потолков, крытые переходы и галереи.

Основные перспективы технического моделирования малых форм- это многовариантная *решетчатая (прямолинейная) интерпретация/аппроксимация непрерывных (сплошных) складчатых оболочек*, составленных из отсеков гипара, коноида, цилиндроида (рисунки 132-136), а также использование гиб-

ких гофрированных оболочек, содержащих в структуре *сквозные проемы* и способных при вариабельной трансформации образовывать многообразные по очертанию пространственные фигуры (рисунки 10-12).

Подобные структуры эффективны в качестве солнцезащитных навесов перронов и платформ (рисунки 132-133), а также элементов рекламных установок (лазерных и светодиодных), фонтанов, фирменных знаков-скульптур /стелл во входных холлах-атриумах штаб-квартир, представительских зданий, *vip*-отелей (рисунки 134-139).

*Гиперболические и зонтичные структуры как малые формы средового дизайна и акцентрирующие детали интерьеров* могут быть выделены в особую группу. Так, малая форма со скульптурным ребристым рельефом, имеющая очертание однополостного гиперболоида вращения, представлена на рисунке 131,б. Здесь дугообразные выступы образованы наружными участками параллельных слоев, полученных операцией усечения соосного подобного гиперболоида чуть большего размера.

Комплекс зонтичных структур типа «колонна с капителью» показан на рисунке 141. Здесь различаются несколько стилистически единых концептуальных линий формотворчества: -складчатая радиальная структура «цветок на стебле» (рисунок 141,а); -пилоная кристаллическая «друза» с многогранной капителью (рисунок 141,б); -параметрически модифицированная решетчатая ребристая структура (вытягивание центральной зоны решетки к низу с образованием профилированной опоры- рисунок 141,в); -кристаллическая «друза»-капитель на профилированной опоре (рисунок 141,г); -капитель из гиперболических параболоидов с линейным графическим оформлением поверхности, попарно соединенных ромбовидными складками в местах сочленения с профилированной опорой (рисунок 141,д); -расширяющаяся кверху спирально-слоистая *опора Гауди* (название автора- рисунок 141,ж) и ее зеркальное соосное самопересечение (рисунок 141,е); -фрактально-слоистая капитель из звездчатых восьмилучевых пересекающихся призм-слоев, развернутых относительно друг друга и уменьшающихся от периферии к центру с последовательным снижением к центральной складчатой опоре- вытянутой в длину наименьшей

из призм (рисунок 141,з); при этом геометрические параметры слоев (толщина, размеры и количество лучей, глубина врезки) могут быть вариативными в широких пределах.

Складчатые и решетчатые структуры могут быть эффективным формо-творческим инструментом при создании различных изделий промышленного дизайна: декоративные и жесткие панели и перегородки различных приборов, аппаратов, машин; формы пищевых продуктов (рисунок 149,г), ювелирных изделий (рисунки 149,д-е), а также аксессуаров одежды (пуговицы, веера, галстуки- рисунки 149,а-в), сувениров и изделий полиграфической промышленности из бумаги, картона и пластика (рисунок 148).

### **3.6. Центрические регулярные структуры в объектах современного дизайна**

К таким структурам относятся гладкие сферические формы с различной поверхностной разбивкой, а также созданные на их основе или полученные каким-либо другим образом замкнутые звездчатые, сотовые, многогранные, квазимногогранные сфероподобные оболочки с выпуклой или невыпуклой поверхностью, которые могут быть описаны концентрической сферой и имеют внутри оболочки *точку-центр* для всех симметрических операций с дискретной регулярной структурой и ее элементами.

В работе определены актуальные направления практического использования полученных на основе современных дизайнерских разработок центрических регулярных дискретных структур: -сферические капсулы жилых отсеков орбитальных космических комплексов и космические спутники связи; -сферические и сферообразные купола для объектов наземного и надводного строительства (в т.ч. укрытия наземных и корабельных радарных установок и обсерваторий, а также полносборные жилые блоки поселений на труднодоступных территориях и в зонах экстремальных природно-климатических условий); -сферические и звездчатые/сотовые малые формы средового дизайна/стеллы; -сферические промышленные газгольдеры; -спортивные мячи; -сувениры и игрушки (в т.ч. елочные); -демонстрационные модели и развивающие конструкторы для студентов вузов; -оболочки осветительных приборов.

На рисунке 101,а показан орбитальный космический комплекс, имеющий общую октаэдральную конфигурацию и образованный состыкованными капсульными жилыми отсеками, сферические оболочки которых имеют изоэдральную/равноэлементную пентагональную разбивку.

Таковую же равноэлементную пентагональную разбивку имеют сферические промышленные газгольдеры большого и малого объема, выполненные из стальных штампованных элементов, сваренных по контурным кромкам (рисунки 109,а-б), а также сферические оболочки наземных, надводных и корабельных радарных установок, собранные из стеклопластиковых криволинейных панелей с сотовой структурой (два геометрических варианта разбивки представлены на рисунках 104-105).

На рисунке 131,а представлена малая форма средового дизайна- декоративная стелла, выполненная в виде звездчатого многогранника (двадцатилучевой большой звездчатый додекаэдр) из остекленных трехгранных пирамид. К стеклянной многогранной оболочке снаружи присоединена решетчатая структура из полых металлических трубок (элементы структуры- одинаковые равносторонние гиперболические параболоиды, очерченные кромками состыкованных треугольных граней каждой пары смежных трехгранных пирамид).

В рамках данной морфологической категории регулярных дискретных структур автором созданы следующие патентные решения.

**Патент 204912 РФ, МПК E04B 1/00. Модуль сферический / А.В.Коротич (РФ). - № 2021105939; Заявл. 09.03.21; Опубл. 17.06.21; Бюл. № 17.**

Технический результат, на достижение которого направлено решение-снижение трудоемкости монтажа сферической оболочки путем увеличения количества сторон у составляющих элементов и уменьшения числа стыкующихся в вершинах сферических элементов при получении максимального числа одинаковых элементов, покрывающих полную сферическую поверхность. Он достигается за счет того, что в модуле, образованном одинаковыми многоугольными элементами сферической поверхности, состыкованными по дугообразным кромкам, элементы выполнены в виде пятиугольных сферических отсеков, дугообразные кромки которых очерчены участками гео-

дезических линий, из которых четыре кромки выполнены попарно одинаковыми; при этом одна из угловых вершин каждого элемента является вершиной стыковки пяти смежных аналогичных элементов, а четыре остальные угловые вершины элемента являются вершинами стыковки трех смежных элементов; причем полную сферическую оболочку модуля составляют шестьдесят одинаковых пятиугольных элементов.

На рисунках 74.1,б и 80.5,б- разновидности модуля сферического с различными геометрическими параметрами составляющих одинаковых пятиугольных сферических элементов. Сферическая оболочка заявляемого модуля выполняется, например, из многослойных композитных материалов с внутренним напеченным изолирующим утеплителем. Возможно изготовление составной оболочки модуля из горячеформованных металлических листовых элементов с последующим соединением их по контурным дугам сваркой.

Полноборная конструкция модуля сферического может обеспечивать его полностью автономное, изолированное жизнеобеспечение.

**Патент 204605 РФ, МПК E04B 1/32. Модуль сферический / А.В.Коротич (РФ). - № 2021105940; Заявл. 09.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.**

Технический результат, на достижение которого направлено решение-снижение трудоемкости монтажа сферической оболочки путем увеличения количества сторон у составляющих элементов и уменьшения числа стыкующихся в вершинах сферических элементов при получении максимального числа одинаковых элементов, покрывающих полную сферическую поверхность. Он достигается за счет того, что в модуле, образованном одинаковыми многоугольными элементами сферической поверхности, состыкованными по дугообразным кромкам, элементы выполнены в виде четырехугольных сферических отсеков, дугообразные кромки которых очерчены участками геодезических линий; при этом одна из угловых вершин каждого элемента является вершиной стыковки пяти смежных аналогичных элементов, а три остальные угловые вершины элемента являются вершинами стыковки трех смежных элементов; причем полную сферическую оболочку модуля составляют шестьдесят одинаковых четырехугольных элементов. При этом в модуле сфериче-

ском в каждом четырехугольном элементе две дугообразные кромки могут быть выполнены одинаковыми.

На рисунках 74.1,к-л и 81.5,з- разновидности модуля, где у одинаковых составляющих четырехугольных сферических элементов по две дугообразные кромки выполнены одинаковыми. На рисунках 74.1,д,ж и 80.5,г- разновидности модуля, где у одинаковых составляющих четырехугольных сферических элементов все четыре дугообразные кромки выполнены различными.

**Патент 205021 РФ, МПК E04B 1/32. Модуль сферический / А.В.Коротич (РФ). - № 2021105941; Заявл. 09.03.21; Оpubл. 23.06.21; Бюл. № 18.**

Технический результат, на достижение которого направлено решение-снижение трудоемкости монтажа сферической оболочки путем увеличения количества сторон у составляющих элементов и уменьшения числа стыкующихся в вершинах сферических элементов при получении максимального числа одинаковых элементов, покрывающих полную сферическую поверхность. Он достигается за счет того, что в модуле сферическом, образованном одинаковыми многоугольными элементами сферической поверхности, состыкованными по дугообразным кромкам, элементы выполнены в виде пятиугольных сферических отсеков, дугообразные кромки которых очерчены участками геодезических линий, из которых четыре кромки выполнены попарно одинаковыми; при этом одна из угловых вершин каждого элемента является вершиной стыковки четырех смежных аналогичных элементов, а четыре остальные угловые вершины элемента являются вершинами стыковки трех смежных элементов; причем полную сферическую оболочку модуля составляют двадцать четыре одинаковых пятиугольных элемента.

На рисунках 77.2,м- общий вид модуля в двух различных ракурсах.

**Патент 204593 РФ, МПК E04B 7/08. Купол сфероподобный / А.В.Коротич (РФ). - № 2021105942; Заявл. 09.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.**

Техническим результатом, на достижение которого направлено решение, является снижение трудоемкости изготовления и монтажа замкнутого сфероподобного купола путем сокращения числа типоразмеров и уменьшения количества стыкующихся в вершинах составляющих оболочек. Он достига-

ется за счет того, что в куполе сфероподобном, образованном одинаковыми четырехугольными зеркально симметричными оболочками двоякой кривизны с прямыми попарно равными кромками, все четырехугольные оболочки состыкованы с образованием замкнутой центрической ребристой составной структуры, где противоположные угловые вершины каждой оболочки, лежащие в плоскости ее зеркальной симметрии, являются вершинами стыковки соответственно трех и пяти смежных аналогичных оболочек, а две другие противоположные угловые вершины оболочки являются вершинами стыковки четырех смежных оболочек; причем полностью замкнутую конструкцию купола составляют шестьдесят одинаковых четырехугольных оболочек.

При этом в куполе, где вершины расположены на поверхности описанной и вписанных концентрических сферических поверхностях, у четырех смежных оболочек, соединенных в одной вершине, попарно равные кромки могут быть состыкованы с образованием единого прямолинейного ребра (рисунок 57,з) либо двух крестообразно пересекающихся прямолинейных ребер (рисунок 57,ж). На рисунке 129,е изображен общий вид купола сфероподобного, все вершины которого расположены на поверхности описанной сферической поверхности.

Перспективные направления эффективной разбивки гладких сферических оболочек следующие: а) создание вариативных технических решений, у которых в вершинах разбивки сферической поверхности стыкуется *лишь по три* сферических отсека, что облегчает процесс изготовления элементов и их монтажа; б) создание вариативных технических решений, содержащих на своей поверхности сферические отсеки *с плоским контуром*, что создает возможности легкой стыковки сферических модулей с образованием многомодульных разветвленных мегаструктур различного очертания.

### **Выводы по 3 главе**

Значение вышеизложенных научно-экспериментальных результатов и изобретательских разработок для практики современного дизайна не нуждается в каком-либо обосновании и является бесспорным. В заключительной части диссертации представлен комплекс созданных на основе предложенных

геометрических способов формообразования результирующих патентоспособных разнообразных технических решений сферических, многогранных, складчатых, решетчатых и комбинированных структур, потенциально перспективных для эффективного использования в объектах весьма широкой функционально-типологической отраслевой номенклатуры.

1. Впервые создан комплекс эффективных патентоспособных технических решений оболочек *модулей космических орбитальных комплексов нового поколения* как объектов современного дизайна. Предложены решения орбитальных модульных жилых комплексов, имеющих общее очертание октаэдральной бипирамиды или куба и составленных из типовых многогранных блоков на основе усеченного октаэдра, а также ромбокубооктаэдра.

Актуальное направление формообразования орбитальных космических комплексов- вариативная компоновочная организация по принципу составных разветвленных или кольцеобразных многозвенных структур на основе многогранных модулей в виде различных отсеков ромбоикосододекаэдра и икосаэдра. Принципиальные решения многомодульных оболочек актуальны при разработке проектов производственно-жилых комплексов на поверхности Луны.

На основе поисково-экспериментальных исследований определен общий принцип образования составляющего многогранного модуля многокомпонентных плотнейших составных структур космических комплексов с высокой степенью комбинаторной вариабельности, который заключается в создании формы базового многогранного блока, к которому присоединяются дополнительные боковые или торцевые многогранные элементы, служащие звеньями стыковки и шлюзовыми блоками при переходе из одного модуля в другой.

2. Определены перспективы эффективного практического применения *форм с трансформируемой складчатой структурой* в объектах современного дизайна широкой типологической номенклатуры. В работе рассмотрены три группы трансформируемых изделий со складчатой структурой, сегодня и в перспективе имеющих особую практическую актуальность: 1-трансформируемые трубчатые конструкции (шлюзы для выхода космонавтов на околоземную орбиту, а также переходные галереи из одного жилого отсека в другой; назем-

ные сооружения: соединительные пешеходные и эвакуационные галереи, покрытия вертикальных буровых установок, быстровозводимые укрытия типа палаток и др.); 2-трансформируемые многогранные модули (мобильные быстровозводимые временные жилые блоки в зонах стихийных бедствий или вооруженных конфликтов); 3-радиальные складчатые структуры (покрытия зданий и сооружений, а также декоративно-художественные элементы и малые формы средового дизайна, подвесные звукорассеивающие потолки в зданиях и сооружениях, сценические элементы театральных декораций, выставочные модули и рекламные стенды, игрушки и конструкторы и др.).

При этом трубчатые структуры созданы на основе двух принципиально различных концепций процесса трансформации объемных форм- *спирально-осевой* и *гармонической*, которые позволяют осуществлять обратимые операции развертывания формы без нарушения ее конструктивных качеств.

3. Разработаны новые эффективные формы *гидротехнических промышленных сооружений* как проектные концепты важных объектов современной индустриальной инфраструктуры. Сегодня данное научно-творческое направление остается одним из самых малоизученных и проблемных в сфере дизайна, что настоятельно требует новых творческих подходов к его практической реализации в контексте производственно-технологического развития.

Предложен ряд новых технически эффективных изобретательских решений таких гидротехнических сооружений, как *градирни*, дизайн которых разработан в русле соответствующих технических концепций. Первая концепция предусматривает выполнение оросителя градирни в виде цельных спиральных/геликоидальных оболочек, опоясывающих центральную распределительную трубу. Вторая концепция предусматривает выполнение вытяжной башни и оросителя градирни в виде отдельных парных соосных оболочек вращения, расположенных ярусами вдоль центральной распределительной трубы в попарно состыкованном виде (смыкаясь соответствующими кольцевыми основаниями) либо с кольцевым зазором относительно друг друга.

4. Созданы новые эффективные технические решения *складчатых и решетчатых структур* как компонентов *дизайна экстерьеров зданий и соору-*

*жений*. Конструктивное формообразование решетчатых структур производится: -вариативной модульной пространственной комбинаторикой исходного структурного элемента; -частичным или сквозным прорезанием различными объемными фигурами (призмами, пирамидами, сферами, торами, гиперболоидами, конусами и др.) или их отсеками исходного сплошного объема; -вариативным параметрическим преобразованием исходной сквозной/ячеистой формы путем разнохарактерной деформации (вытягивание, изгиб и др.) ее различных участков. Моделирование новых складчатых форм производится: -конструированием составных оболочек по принципу «контррельефа»; -складчатой аппроксимацией граней исходных объемов; -двухстадийной трансформацией исходной плоской развертки с образованием первичной складчатой поверхности, которая на втором этапе преобразуется в складчатый объем.

На основе установленных закономерностей и особенностей формообразования вышеназванных структур в рамках каждой из трех групп изделий (-покрытия, -структурные плиты, -элементы каркаса зданий и сооружений) созданы новые эффективные патентоспособные технические решения.

Так, основной формообразующий принцип создания *структурных плит* заключается в формировании одного или двух складчатых слоев из модульных четырехугольных отсеков поверхностей двоякой отрицательной кривизны, состыкованных с образованием двух или трех ячеистых поясов, расположенных в параллельных плоскостях, каждый из которых очерчен многоугольными ячейками одного или двух типов, и связанных между собой сетью внутренних ребер, создающих жесткую геометрически неизменяемую структуру. Разработан алгоритм получения структурных плит с усиленным внутренним ячеистым поясом путем введения дополнительных раскрепляющих однотипных линейчатых оболочек, подразделяющих ячейки пояса на более мелкие части.

Техническими результатами, на достижение которых направлены предложенные решения изделий всех трех групп, являются: увеличение конструктивной высоты при сохранении либо уменьшении габаритов составляющих оболочек, повышение местной и общей жесткости структуры, увеличение перекрываемого пролета, сокращение числа типоразмеров элементов.

5. Разработаны новые технические решения *складчатых и решетчатых структур* как компонентов *интерьерного и средового дизайна*. Предложены новые типы фрактальных решеток, складчатых звукорассеивающих оболочек в зальных общественных интерьерах, создающих повышенный акустический комфорт, а также малых форм (в т.ч. гиперболических и зонтичных). Полученные в рамках исследования акустические экраны позволяют корректировать акустические характеристики неудачных по геометрическим параметрам интерьеров, а также получать максимально дисперсное поле отраженного звука при различных акустических режимах функционирования залов.

6. Предложены новые переменные решения *центрических регулярных структур* для эффективного использования в различных отраслях современного дизайна (-сферические капсулы жилых отсеков орбитальных космических комплексов; -сферические и сферообразные купола для объектов наземного и надводного строительства; -звездчатые малые формы экстерьерного и интерьерного средового дизайна/стелы и скульптуры; -сферические промышленные газгольдеры; -развивающие конструкторы, украшения и др.).

Представленные в работе авторские патентные технические решения центрических структур имеют своей главной целью снижение трудоемкости монтажа сферических оболочек путем увеличения числа сторон у составляющих тонкостенных отсеков и уменьшения количества стыкующихся в вершинах сборных элементов при получении максимального количества одинаковых частей, покрывающих полную сферическую поверхность. Дополнительную эффективность сферические модули обретают при возможности их многовариантной пространственной стыковки по контуру отсеков.

7. Все разработанные в рамках третьей главы патентоспособные технические решения объектов дизайна демонстрируют новые эффективные пути их *комплексного усовершенствования*, когда новая результирующая форма объекта одновременно определяет его высокие художественно-эстетические, технико-экономические и функционально-потребительские/утилитарные качества и характеристики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Значение совершенного и многофункционального рабочего формо-творческого инструментария для моделирования новых и переменных форм объектов современного дизайна, сочетающих комплекс художественно-эстетических, конструктивно-технических и функциональных/утилитарных/потребительских достоинств, сегодня трудно переоценить. Представленное диссертационное исследование является именно «инструментальным», где дизайнеру предложен новый морфологический аппарат художественного и технического творчества- готовый к практическому использованию комплекс научных алгоритмов и производных геометрических моделей, потенциально перспективных для реализации их в различных областях современного дизайна.

В настоящее время передовые российские и зарубежные университеты, научно-исследовательские учреждения, проектные и производственные фирмы ведут целенаправленный поиск эффективных новых типов регулярных дискретных оболочек, отрабатывают технологии их получения из различных материалов. Проводятся международные симпозиумы под эгидой International Association of Space Systems (IASS) и Council of Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH), посвященные проблемам формообразования тонкостенных, решетчатых и комбинированных пространственных структур, где намечаются перспективные пути их технического совершенствования и эффективного использования в самых различных сферах дизайна и зодчества.

2. В основу представленной работы положен принцип *универсальности формы*, предполагающий принципиальную возможность и равноценную эффективность использования какой-либо абстрактной формы в различных, не связанных друг с другом областях дизайна. Специфика настоящей работы заключается именно в том, что объект и предмет исследования изначально не связаны однозначно с какой-либо конкретной типологической категорией объектов технической эстетики.

Принципиальная методология работы (*от какой-либо новой универсальной абстрактной формы- к спектру разнообразных по функции изделий/объектов дизайна на ее основе*) предполагает расширение перспективного функ-

ционального диапазона областей использования полученных практических результатов как одного из главных направлений представленного исследования. При этом принципиальная идеологическая направленность работы- *абстрактные форматворческие поиски в дизайне* как методологическая и инструментальная основа конструирования разнообразных изделий с конкретной функциональной спецификой- абсолютно правомерна и имеет самостоятельную, весьма значительную научно-практическую ценность.

3. Представленное исследование ограничено рассмотрением наиболее перспективных в практическом/технологическом отношении семи морфологических групп *регулярных дискретных структур*: -изоэдральных сферических структур, -складчатых оболочек, -решетчатых структур, -квазимногогранных структур, -составных линейчатых структур, -пластинчато-стержневых структур, -замкнутых многогранных структур.

В рамках каждой из данных групп предложены новые алгоритмы геометрического моделирования с получением комплекса новых форм на их основе. Данные формы перспективны для использования в процессе дизайнерского проектирования объектов широкой функционально-типологической номенклатуры (автором обозначен перечень из 26 самых разнообразных отраслей и направлений их эффективного практического применения).

В процессе проводимых исследований наряду с компьютерным моделированием структур широко применялось *макетирование* как способ проверки теоретических положений и виртуальных графических построений: было установлено, что далеко не все свойства полученных форм раскрываются средствами компьютерного моделирования (создание виртуальных 3d-моделей пространственных объектов и их графическая визуализация); при этом наилучшие результаты получались именно при комплексном морфологическом подходе.

Ряд созданных форм получил промышленную апробацию (опытные образцы и серийное производство). Основные положения работы использованы в практике проектирования и строительства ряда действующих реализованных объектов средового и интерьерного дизайна.

Вместе с тем созданная в рамках представленной диссертации научно-методическая платформа, несомненно, будет востребована в учебном процессе отечественных и зарубежных вузов, а также при проведении дальнейших научных исследований и создании профессиональных творческих работ.

4. Предложенные алгоритмы, установленные научные закономерности и особенности, а также конкретные способы и методические приемы моделирования представленных новых типов пространственных регулярных дискретных структур обладают высоким формотворческим потенциалом и образуют перспективные ветви дизайнерского морфологического моделирования, направленные на создание результирующих конфигураций объектов, обладающих высокой технической эффективностью и расширенным функциональным диапазоном а, следовательно, высокой патентоспособностью, что позволяет установить государственный приоритет многих актуальных технических разработок в этой важнейшей сфере.

5. Созданные в результате многолетних поисково-экспериментальных исследований вышеописанные типы регулярных дискретных структур существенно расширяют инструментальный арсенал композиционных и технических возможностей архитектурно-дизайнерского формообразования, что в полной мере отвечает задачам научно-технического прогресса XXI века.

Присущие новым структурам технические и композиционные качества, определяемые их геометрией и топологией, делают их перспективными для эффективного использования в самых различных направлениях и объектах дизайнерского творчества, основные из которых: -модули орбитальных космических станций и производственно-жилых напланетных/лунных комплексов, а также трансформируемые трубчатые шлюзы; -быстровозводимые сборно-разборные и трансформируемые сооружения малых и средних пролетов (укрытия/ангары и временное жилье в труднодоступных районах месторождений полезных ископаемых, а также зонах стихийных бедствий и военных конфликтов); -модульные изделия стройиндустрии (сферические и сводчатые покрытия, структурные плиты, панели, элементы каркаса и др.); -оболочки промышленных сооружений (газгольдеров, водонапорных башен, градирен, плотин и

др.); -кристаллографические и решетчатые оболочки фасадов имиджевых зданий; -акустические экраны в сфере интерьерного дизайна; -малые формы среднего дизайна (скульптуры, фонтаны, фирменные знаки, сценические элементы в интерьерах, рекламно-выставочные модули, рестораны, киоски, павильоны, крытые галереи и переходы и др.); -игрушки, сувениры и развивающие конструкторы; -светильники; -демонстрационные пособия; ювелирные изделия; аксессуары одежды; пищевые продукты; изделия книжной полиграфии.

**6.** Вскрытие новых потенциальных возможностей уже известных методологий и способов, а также создание принципиально новых инструментов экспериментально-поискового виртуального и физического моделирования еще неизвестных на сегодняшний день регулярных дискретных структур- таковы основные перспективы научного прогресса дизайна и архитектуры нового века. Приоритет в стратегии эффективных разработок будет отдаваться *комплексному усовершенствованию* объекта, где новая результирующая форма одновременно определяет его художественно-эстетические, конструктивно-технологические и функционально-потребительские качества.

**7.** Результаты проведенных автором исследований также имеют большие перспективы практического применения в русле некоторых фундаментальных наук и направлений- кристаллографии, биохимии, микробиологии, структурной химии, физики твердого тела (пьезокристаллы), нанотехнологий и др. Яркое свидетельство тому- пристальное внимание к данной проблематике участников Всемирного конгресса кристаллографов в Москве в конце 2016 года, на котором присутствовали многие лауреаты Нобелевской премии.

**8.** В качестве *общего итога* можно уверенно констатировать, что сегодня стратегический приоритет в научно-изобретательских достижениях сферы *регулярного дискретного структурирования объектов трехмерного пространства* с очевидностью выходит за рамки собственно научных проблем: теперь это вопрос государственного престижа, технологической конкурентоспособности и национальной безопасности в контексте общемирового социально-культурного и научно-технического прогресса XXI века.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

### **I. Научные монографии, статьи, диссертации и авторефераты, журналы, учебники, учебные пособия, сборники научных трудов:**

1. Александров, А.Д. Выпуклые многогранники / А.Д.Александров. - М.: Гостехиздат, 1950. - 428 с.: ил.
2. Архитектурно-бионические конструктивные формы для сельских жилых, общественных и производственных зданий / Каталог проектов и работ; Под ред. Лебедева Ю.С. - Части 1-2. - М.: Изд. Госгражданстроя, 1985. - 42 с.
3. Астана- архитектурная симфония Великой Степи /сост. и авт.: Чиканавев А.Ш.- Астана: Деловой мир Астана, 2008.- 270 с.: ил.
4. Ачкасов, Ю.А. Геометрическое конструирование многогранных многовершинных поверхностей, развертывающихся на плоскость без складок и разрывов: дис...канд. техн. наук: 05.01.01 / Юрий Александрович Ачкасов. - Харьков, 1978. - 188 с.: ил.
5. Базилевский,А.А. Технология и формообразование в проектной культуре дизайна: влияние технологии на морфологию промышленных изделий: автореф. дис...канд. искусств.: 17.00.06 / Александр Андреевич Базилевский. - М., 2006. - 26 с.
6. Белько, Т.В. Бионические принципы формообразования костюма: автореф. дис...докт. техн. наук: 17.00.06 / Татьяна Васильевна Белько. - М., 2006. - 32 с.
7. Боков, А.В. Архитектура и дизайн / А.В.Боков // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2015. - № 4. - С. 97-100.
8. Боков, А.В. Четыре статьи /А.В.Боков. - М.: «Строительный эксперт», 2019. - 129 с., ил.
9. Борисовский, Г.Б. Архитектура как искусство и научно-технический прогресс: дис...докт. искусств.: 17.00.00 / Георгий Борисович Борисовский. - М., 1970. - 592 с.: ил.
10. Бытачевская, Т.Н. Искусство художественного авангарда XX века как фактор формообразования в дизайне: теоретические концепции и проблемы интерпретации: автореф. дис...докт. искусств.: 17.00.06 / Тамара Никифоровна

Бытачевская. - М., 2005. - 57 с.

11. Бюттнер, О. Сооружение- несущая конструкция- несущая структура: анализ живой природы и градообразующей среды / О.Бюттнер, Э.Хампе. - М.: Стройиздат, 1983. - 340 с.: ил.

12. Васильева, Т.С. Влияние новых технологий на формообразование в дизайне одежды: автореф. дис...канд. искусств.: 17.00.06 / Татьяна Сергеевна Васильева. - М., 2011. - 37 с.

13. Вартамян, О.М. Легкие архитектурные структуры: каталог / О.М. Вартамян.- Ереван: Изд. ЦНТИ Госстроя Арм.ССР, 1989. - 49 с.: ил.

14. Вартамян, О.М. Теоретические основы динамического структурного формообразования в архитектуре: дис...докт. архитектуры: 18.00.01 / Олег Миконович Вартамян. - Ереван, 1989. - 301 с.: ил.

15. Веннинджер, М. Модели многогранников /М.Веннинджер; под общ. ред. И.М.Яглома. - М.: Мир, 1974. - 236 с.: ил.

16. Власов, В.Г. Дизайн-архитектура и XXI век [Электронный ресурс] / В.Г.Власов // Архитектон: известия вузов. - 2013. - №1(41). - URL: [http://archvuz.ru/2013\\_1/1](http://archvuz.ru/2013_1/1).

17. Волков, А.И. Тектоника структурных пространств с направляющими поверхностями / А.И.Волков // Техническая эстетика. - 1979. - № 3. - С. 14-15.

18. Волчок, Ю.П. Конструкции и форма в советской архитектуре / Ю.П. Волчок, Е.К.Иванова, Р.А.Кацнельсон, Ю.С.Лебедев. - М.: Стройиздат, 1980. - 263 с.: ил.

19. Волынский, В.Э. Информационно-технологические методы в архитектурном формообразовании: автореф. дис...канд. архитектуры: 05.23.20 / Владимир Эдуардович Волынский. - М., 2012. - 25 с.

20. Галиулин, Р.В. Кристаллографическая геометрия / Р.В.Галиулин. - М.: Наука, 1984. - 136 с.: ил.

21. Гамаюнов, В.Н. Проективнография: формирование и отображение: автореф. дис...докт. искусств.: 17.00.06 / Виктор Николаевич Гамаюнов. - М., 1989. - 34 с.

22. Гнедовский, Ю.П. Нам необходимо осмыслить свое место в мировом архитектурном процессе / Ю.П.Гнедовский // Архитектура, строительство, дизайн. - 2000. - № 4. - С. 4-6.

23. Гоголева, Н.А. Декоративные приемы в архитектуре кристаллических куполов и оболочек: дис...канд. архитектуры: 18.00.02 / Наталья Аркадьевна Гоголева. - М., 1983. - 249 с.: ил.

24. Гольцева, Р.И. Методика формообразования многогранных моделей. Часть I. Многогранники: учеб. пособие / Р.И.Гольцева; под общ.ред. В.Н.Гамаюнова. - М.: МИСИ, 1983. - 47 с.: ил.

25. Голов, Г.М. Архитектурное формирование объемно-пространственной структуры кристаллических купольных оболочек: дис...канд. архитектуры: 18.00.02 / Геннадий Михайлович Голов. - М., 1976. - 160 с.: ил.

26. Грашин, А.А. Дизайн унифицированных и агрегатированных промышленных изделий: Теория, методика, практика: дис...докт. искусств.: 17.00.06 / Александр Александрович Грашин. - М., 2002. - 286 с.: ил.

27. Делоне, Б.Н. Комбинаторная и метрическая теория планигонов / Б.Н. Делоне, Н.П.Долбилин, М.И.Штогрин // Труды матем. ин-та АН СССР. - 1978. - № 148. - С. 109-140, ил.

28. Дубова, А.А. Особенности художественной формы объектов техники. Константы и контекст формотворчества / А.А.Дубова, Ю.В.Назаров // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА им.Строганова С.Г. - 2015. - № 2. - С. 133-145.

29. Ефимов, А.В. Дизайн архитектурной среды / А.В.Ефимов, В.Т.Шимко, Н.И.Щепетков. - М.: Архитектура-С, 2006. - 504 с.: ил.

30. Забельшанский, Г.Б. Архитектура и эмоциональный мир человека / Г.Б.Забельшанский, Г.Б.Минервин, А.Г.Раппапорт, Г.Ю.Сомов. - М.: Стройиздат, 1985. - 208 с.: ил.

31. Заморзаева-Орлеанская, Е.А. Исследование правильных разбиений для групп симметрии подобия: дис...канд. физ.-мат. наук: 01.01.04 / Елизавета Александровна Заморзаева-Орлеанская. - Кишинев, 1982. - 138 с.: ил.

32. Затулий, А.И. Разработка теоретических концепций формообразова-

ния авангардного костюма в системе дизайнерского проектирования: автореф. дис... докт. техн. наук: 17.00.06 / Альбина Игоревна Затулий. - М., 2007. - 36 с.

33. Зубков, В.В. Формообразование стереометрических куполообразных оболочек и их применение в архитектуре (на примере проектирования общественных зданий): дис...канд. архитектуры: 18.00.02 / Виктор Васильевич Зубков. - М., 1980. - 174 с.: ил.

34. Иванова, Е.К. Пьер Луиджи Нерви / Е.К.Иванова, Р.А.Кацнельсон. - М.: Стройиздат, 1968. - 128 с.: ил.

35. Иванова, Е.К. Рене Саржер / Е.К.Иванова. - М.: Стройиздат, 1971. - 127 с.: ил.

36. Квормби, А. Архитектор и пластмассы / А.Квормби. - М.: Стройиздат, 1978. - 246 с.: ил.

37. Кириенко, Э.М. Экспериментальные пространственные конструкции покрытий / Э.М.Кириенко // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. - 1968. - № 2. - С. 3-9, ил.

38. Кобзев, Д.С. Влияние технологий формообразования на дизайн изделий сложной формы: автореф. дис...канд.техн.наук: 17.00.06 / Дмитрий Сергеевич Кобзев. - М., 2015. - 22 с.

39. Колейчук, В.Ф. Новые архитектурно-конструктивные структуры / В.Ф.Колейчук, Ю.С.Лебедев. - М.: Стройиздат, 1978. - 64 с.: ил.

40. Колейчук, В.Ф. Кинетизм: альбом / В.Ф.Колейчук. - М.: Галарт, 1994. - 154 с.: ил.

41. Колейчук, В.Ф. Новейшие конструктивные системы в формировании архитектурной среды: Учеб.пос. для студ. направл. «Архитектура» и «Дизайн архитектурной среды» / В.Ф.Колейчук. - М.: БуксМАрт, 2016. - 127 с.: ил.

42. Коротич, А.В. Небоскреб как произведение пластического искусства: монография / А.В.Коротич. - Екатеринбург: Архитектон, 2018. - 404 с., ил.

43. Корытов, А.В. Проектирование ювелирных изделий на основе законов бионического формообразования: автореф. дис...канд.техн.наук: 17.00.06 / Александр Владимирович Корытов. - М., 2004. - 16 с.

44. Кривошапка, С.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей / С.Н.

Кривошапко, В.Н.Иванов. - М.: Книжный дом «Либроком», 2010. - 560 с.

45. Кузнецова, Г.Н. Принципы взаимодействия структурного формообразования и визуальной экологии в средовом дизайне: автореф. дис...канд. искусств.: 17.00.06 / Галина Николаевна Кузнецова. - М., 2011. - 27 с.

46. Купар, А.К. Гиперболические параболоиды в архитектуре: дис...канд. архитектуры: 18.00.02 / Александр Карлович Купар. - М., 1967. - 141с.: ил.

47. Лаврентьев, А.Н. Цифровые технологии в дизайне. История, теория, практика: учебник и практикум для вузов / А.Н.Лаврентьев, Е.В.Жердев, В.В.Кулешов и др. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт, 2019. - 206 с.: ил.

48. Левитин, К.Е. Геометрическая рапсодия / К.Е.Левитин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Знание, 1984. - 176 с.: ил.

49. Лексина, О.И. Архитектура, искусство, дизайн: линейчатые поверхности как основа конструкции и образа: автореф. дис...канд. искусств.: 17.00.04 / Ольга Игоревна Лексина. - М., 2018. - 32 с.

50. Лубо, Л.Н. Плиты регулярной пространственной структуры / Л.Н.Лубо, Б.А.Миронков. - Л.: Стройиздат; Лен.отд-е, 1976. - 104 с.: ил.

51.Майстровская, М.Т. Композиционно-художественные тенденции формообразования музейной экспозиции: в контексте искусства, архитектуры, дизайна: дис...докт. искусств.: 17.00.06 / Мария Терентьевна Майстровская.- М., 2002.- 289 с. + ил.прил. (с. 290-570). Библиогр. (с. 571-590).

52. Манцевич, А.Ю. Совершенствование методов трансформативного формообразования в дизайне костюма: автореф. дис...канд. техн. наук: 17.00.06 / Александра Юрьевна Манцевич. - М., 2013. - 16 с.

53. Маркелова, И.Д. Пространственно-геометрическое формообразование в костюме: автореф. дис...канд. техн. наук: 17.00.06 / Ирина Дмитриевна Маркелова. - М., 2005. - 16 с.

54. Мартынов, Ф.Т. Основные законы и принципы эстетического формообразования и их проявление в архитектуре и дизайне: учеб. пос. / Ф.Т.Мартынов. - Екатеринбург: УралАРХИ, 1992. - 108 с.

55. Мелодинский, Д.Л. Концепции художественного формообразования в архитектурных школах XX века. Развитие творческих идей ВХУТЕМАСа и

Баухауза: автореф. дис...докт. искусств.: 18.00.01 / Дмитрий Львович Мелодинский. - М., 2003. - 43 с.

56. Михайленко, В.Е. Формообразование большепролетных покрытий в архитектуре / В.Е.Михайленко, С.Н.Ковалев, К.А.Сазонов. - Киев: Віща школа, 1987. - 191 с.: ил.

57. Михайленко, В.Е. Конструирование форм современных архитектурных сооружений / В.Е.Михайленко, С.Н.Ковалев. - Киев: Будівельник, 1978. - 112 с.: ил.

58. Михайлов, С.М. Дизайн современного города: комплексная организация предметно-пространственной среды: теоретико-методологическая концепция: автореф. дис...докт. искусств.: 17.00.06 / Сергей Михайлович Михайлов. - Казань, 2011. - 57 с.

59. Назаров, Ю.В. Пластический язык и тектонические особенности промышленных изделий: дис... канд. искусств.: 17.00.06 / Юрий Владимирович Назаров. - М., 1997. - 23 с.

60. Орельская, О.В. Современная зарубежная архитектура: учеб. пос. для вузов / О.В.Орельская. - М.: Академия, 2006. - 272 с.: ил.

61. Павлов, Г.Н. Автоматизация архитектурно-строительного проектирования геодезических куполов и оболочек: автореф. дис...докт. техн. наук: 05.13.12 / Геннадий Николаевич Павлов. - Нижний Новгород, 2007. - 45 с.: ил.

62. Петушкова, Г.И. Симметрия в программированном формообразовании модного костюма: автореф. дис...докт. искусств.: 17.00.06 / Галина Ивановна Петушкова. - М., 1992. - 38 с.

63. Плаксиев, Ю.А. Некоторые принципы использования природного морфогенеза в архитектуре: дис...канд. архитектуры: 18.00.01 / Юрий Алексеевич Плаксиев. - М., 1979. - 267 с.: ил.

64. Пронин, Е.С. Теоретические основы архитектурной комбинаторики: учеб. для вузов / Е.С.Пронин. - М.: Архитектура-С, 2004. - 232 с.

65. Пьянкова, Н.С. Неорационалистические методы формообразования в дизайне интерьера 2000-х гг.: автореф. дис...канд. искусств.: 17.00.06 / Надежда Сергеевна Пьянкова. - Екатеринбург, 2012. - 21 с.

66. Рассолова, Е.Ю. Принципы формообразования ювелирных изделий в системе «костюм»: автореф. дис...канд. техн. наук: 17.00.06 / Евгения Юрьевна Рассолова. - М., 2011. - 16 с.

67. Розенблюм, Е.А. Художник в дизайне / Е.А.Розенблюм. - М.: Искусство, 1974. - 176 с.: ил.

68. Сапрыкина, Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре: учеб. для вузов / Н.А.Сапрыкина. - М.: Архитектура-С, 2005. - 312 с.

69. Сидоренко, В.Ф. Проблемы формы в теории Дизайна: дис...канд. искусств.: 17.00.06 / Владимир Филиппович Сидоренко. - М., 1975. - 180 с.: ил.

70. Сладков, В.А. Архитектурные формы и виды тканевых и сетчатых покрытий, трансформируемых из плоскости: дис...канд. архитектуры: 18.00.02 / Владимир Александрович Сладков. - Казань, 1969. - 185 с.: ил.

71. Сомов, Ю.С. Композиция в технике / Ю.С.Сомов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1987. - 288 с.: ил.

72. Темнов, В.Г. Конструктивные системы в природе и строительной технике / В.Г.Темнов. - Л.: Стройиздат; Ленингр. отд-е. - 1987. - 256 с.: ил.

73. Трущев, А.Г. Формообразование и конструирование пространственных покрытий зданий в архитектурном проектировании: учеб.пособие / А.Г. Трущев. - М.: МАрхИ, 1987. - 84 с.: ил.

74. Тумасов, А.А. Архитектурное формообразование на основе плоской кинематической структуры: дис...канд. архитектуры: 18.00.01 / Александр Анатольевич Тумасов. - М., 1985. - 138 с.: ил.

75. Туполев, М.С. Новые архитектурные типы сводов и куполов для массового строительства: дис...докт. архитектуры: 18.00.02 / Михаил Сергеевич Туполев. - М., 1953. - 375 с.: ил.

76. Узоры симметрии / Пер. с англ.; Под ред. Сенешаль М. и Флека Дж. - М.: Мир, 1980. - 269 с.: ил.

77. Федоров, Е.С. Начала учения о фигурах / Е.С.Федоров. - М.;Л.: Изд. АН СССР, 1953. - 410 с.: ил.

78. Федорова, Т.Ю. Экспериментальное формообразование в дизайне: автореф. дис...канд. искусств.: 17.00.06 / Татьяна Юрьевна Федорова. - М.,

2011. - 24 с.

79. Фесан, А.Н. Геометрическое моделирование и автоматизация проектирования трансформируемых складчатых структур: дис...канд. техн. наук: 05.13.12 / Александр Николаевич Фесан. - Киев, 1981. - 227 с.: ил.

80. Хан-Магомедов, С.О. Сто шедевров советского архитектурного авангарда / С.О.Хан-Магомедов. - М.: УРСС, 2005. - 456 с.: ил.

81. Червонная, М.А. Проектное прогнозирование в дизайне: от идеи к формообразованию: автореф. дис...канд. искусств.: 17.00.06 / Мария Алексеевна Червонная. - М., 2014. - 33 с.

82. Шубенков, М.В. Структурные закономерности архитектурного формообразования / М.В.Шубенков.: Учеб.пособие. - М.: «Архитектура-С», 2006. - 320 с., ил.

83. Шубников, А.В. Симметрия в науке и искусстве / А.В. Шубников, В. А.Копцик. - М.: Наука, 1972. - 339 с.: ил.

84. Шумская, О.Р. Принципы формообразования жилья на воде: историко-культурный и экологический подходы: автореф. дис...канд. искусств.: 17.00.06 / Ольга Романовна Шумская. - М., 2014. - 35 с.

85. Яралов Ю.С. Национальное и интернациональное в советской архитектуре /Ю.С.Яралов.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1984. - 224 с.

86. A new approach to Structure // Architectural Forum. - 1957. - vol. 106. - № 1. - P. 124-141, il.

87. Bauen mit Kunststoffen // Plasticonstruction. - 1972. - № 1. - S. 33-52.

88. Blumel, D. Wandelbare Dacher / D.Blumel, R.Graefe, J.Hennicke. - Stuttgart: Kramer, 1972. - 398 s.: il.

89. Bruno Ernst. Der Zauberspiegel des Mauritz Cornelis Escher / Ernest Bruno. - Koln, Taschen, 1992. - 112 s.: il.

90. Designs for a Warehouse // Wood. - 1967.- vol. 32. - № 2. - P. 31-36, il.

91. Frostick, P. Antiprism based from possibilities for folded surface structures / P.Frostick // Architectural Science Review. - 1978. - № 3. - P. 59-67.

92. Gat, D. Self-supporting interlocking grids for multiple applications / D.Gat // Architectural Science Review. - 1978. - vol. 21. - № 4. - P. 105-109, il.

93. Gaudi. La busqueda de la forma. - Barcelona: Lunweg, 2002. - 166 s.
94. G.R.P. Building for Torquay Exhibition // Reinforced Plastics. - 1969. - vol. 14. - № 1. - P. 18, il.
95. Grunbaum, B. Isohedral tilings of the plane by polygons / B.Grunbaum, G.C. Shepard // Comment. Math. Helvetici. - 1978. - vol. 53. - P. 542-571, il.
96. Grunbaum, B. The ninety-one types of isogonal tilings in the plane / B. Grunbaum, G.C.Shepard // Transactions of the American Mathematical Society. - 1978. - vol. 242. - P. 335-353, il.
97. Grunbaum, B. The eighty-one types of isohedral tilings in the plane / B. Grunbaum, G.C.Shepard // Math. Proc. Cambridge Phil. Society. - 1977. - vol. 82. - part 2. - P. 177-196, il.
98. Grunbaum, B. Tilings by Regular Polygons / B.Grunbaum, G.C. Shepard // Mathematics Magazine. - 1977. - vol. 50. - № 5. - P. 227-247, il.
99. Grunbaum, B. Isotoxal tilings / B.Grunbaum, G.C.Shepard // Pacific Journal of Mathematics. - 1978. - vol. 76. - № 2. - P. 407-430, il.
100. Huybers, P. Large Span Folded Structures in Plastics / P.Huybers // Proc. of I.A.S.S. Symp. on Folded Plates and Prismatic Structures; Ed.: Krapfenbauer R. - Vienna, Oct., 1970. - 20 p., il.
101. Jodidio, P. Santiago Calatrava / P.Jodidio. - Koln: Taschen, 2001.-176 p.
102. Jodidio, P. Architecture in Emirates / P.Jodidio. - Koln: Taschen, 2007. - 192 p.: il.
103. Knappke, G. Uberdachungen fur Schwimmbader / G.Knappke // Deutsche Baumeister. - 1974. - № 2. - S. 94-99, il.
104. Kolozsvary, A. Universal folded plate structures / A.Kolozsvary // Industrialized Building Systems and Components. - 1970. - vol. 7.- № 11. - P. 16-22, il.
105. Kozel, M. Computer aided investigation of a system of irregular antiprismatic folded surfaces / M.Kozel, C.Riepl // Architectural Science Review. - 1978. - № 3. - P. 68-72, il.
106. Lagerpusch, S. Faltwerk als geometrischer begriff / S.Lagerpusch // Bau-en-Wohnen. - 1967. - № 12. - S. XII-1, XII-2, XII-4, XII-6.
107. Lagerpusch, S. Hyperbolisches Paraboloid und Faltwerk / S.Lagerpusch //

Bauen-Wohnen. - 1967. - № 2. - S. 63-66.

108. Lewis, R. Leisure in lock-up / R.Lewis // The Architect. - 1972. - № 6. - P. 34, il.

109. Lightweight Structures in Architecture and Nature: catalogue / Exhibition «Natural Structures», Moscow. - Stuttgart: IL, Aug. 1983. - 108 s.

110. Makowsky, Z.S. Stressed skin space grids / Z.S.Makowsky // Architectural Design. - 1961. - № 7. - P. 323-327.

111. Miura, K. Proposition of pseudo-cylindrical concave polyhedral shells / K.Miura // Proc. of I.A.S.S. Symp. on Folded Plates and Prismatic Structures. - Vienna, Oct., 1970. - 47p, il.

112. Onat, E. Mimarlik, Form ve Geometri / E.Onat.- Ankara: Yapi Endustri Merkezi, 1991. - 92 s.: il.

113. Piano, R. Ricerca sulle strutture in lamiera e in poliestere rinforzato / R. Piano // Domus. - 1967. - № 448. - P. 8-22.

114. Quarmby, A. Folding structures / A.Quarmby // Architectural Design. - 1968. - № 1. - P. 6.

115. Resch, R. Kinematic Folded Plate System / R.Resch, H.Christiansen // Proc. of I.A.S.S. Symp. on Folded Plates and Prismatic Structures; Ed.: Krapfenbauer R. - Vienna, Oct., 1970. - 15 p., il.

116. Richard Buckminster Fuller // Architectural Design. - 1961. - vol. 31. - № 7. - P. 290-322, il.

117. Rosman, R. Faltwerke-1 / R.Rosman // Deutsche Bauzeitschrift. - 1979. - № 10. - S. 1575-1588.

118. Rosman, R. Faltwerke-2 / R.Rosman // Deutsche Bauzeitschrift. - 1980. - № 2. - S. 271-277.

119. S.di Pasquale. Notes on a Geometric and Static Theory of Space Structure «Sandwich» Plates and Slabs, Obtained by Folded Metal Sheet / S. di Pasquale, D.Oliviero, N.Pelliccia, A.Vitale // Proc. of I.A.S.S. Symp. on Folded Plates and Prismatic Structures. - Vienna, Oct., 1970. - 59 p., il.

120. Sedlak, V. Paper Shelters / V.Sedlak // Architectural Design. - 1973. - vol. 43. - № 12. - P. 756-763, il.

121. Self-supporting roof in reinforced plastic // The Architect and Building News. - 1969. - vol. 3. - № 4.

122. Swimming pool cover erected in two days // Reinforced Plastics. - 1969. - vol. 13. - № 10. - P. 268-269, il.

123. Technews: Self-supporting plastic roof // Building Materials. - 1970. - vol. 30. - № 9. - P. 34, il.

124. Temesvari, A. Uber doppelhomogene zerlegungen / A.Temesvari // Annales Universitatis Scientiarum Budapestienseus; Sectio mathematica. Tomus XXII - XXIII. - Budapest, 1979-1980. - S. 163-196, il.

125. When, R.J. Concepts of origami in structural concrete / R.J.When // Building Materials and Equipment. - 1980. - vol. 22. - № 130. - P. 36-39, il.

## **II. Авторские свидетельства и патенты:**

126. А.с. 374428 СССР, МКИ Е04В 7/08. Пространственное покрытие / Я.Ф. Хлебной, Г.В.Котельников (СССР). - № 1636544/29-14; Заявл. 17.03.71; Оpubл. в Б.И., 1973, № 15.

127. А.с. 480812 СССР, МКИ Е04В 7/14. Складчатое пространственное покрытие / А.Д.Ярмоленко (СССР). - № 1925141/29-33; Заявл. 06.06.73; Оpubл. в Б.И., 1975, № 30.

128. А.с. 494501 СССР, МКИ Е04В 7/08. Сетчатое купольное покрытие здания и сооружения / М.С.Туполев (СССР). - № 1979044/29-33; Заявл. 21.12.73; Оpubл. в Б.И., 1975, № 45.

129. А.с. 540022 СССР, МКИ Е04В 7/08. Складчатое покрытие / О.М. Варганян (СССР). - № 2111656/29-33; Заявл. 06.03.75; Оpubл. Б.И., 1976, № 47.

130. А.с. 581216 СССР, МКИ Е04В 7/00. Складчатое покрытие / А.В. Перельмутер, А.Я.Прицкер, В.А.Аденский (СССР). - № 2180025/29-33; Заявл. 10.10.75; Оpubл. в Б.И., 1977, № 43.

131. А.с. 586251 СССР, МКИ Е04В 7/10. Складчатое покрытие / О.М. Варганян (СССР). - № 2335110/29-33; Заявл. 15.03.76; Оpubл.Б.И.,1977, № 48.

132. А.с. 718569 СССР, МКИ Е04В 7/08. Способ изготовления оболочек / Ю.С.Лебедев В.Г.Темнов (СССР). - № 2542431/29-33; Заявл. 10.11.77; Оpubл. в Б.И., 1980; № 8.

133. А.с. 727810 СССР, МКИ E04G 11/00. Опалубка для изготовления оболочек типа «гипар» / А.Н.Тетиор, А.А.Рубель (СССР). - № 2545236/29-33; Заявл. 18.11.77; Оpubл. в Б.И., 1980; № 14.

134. А.с. 732468 СССР, МКИ E04B 1/32. Складчатое покрытие / Ю.М. Сазанович (СССР). - № 2536926/29-33; Заявл. 24.10.77; Оpubл. Б.И., 1980, № 17.

135. А.с. 744096 СССР, МКИ E04G 11/04. Способ возведения железобетонного свода на пневмоопалубке / Ю.В.Чуров, Ю.А.Павлов (СССР). - № 2585737/29-33; Заявл. 01.03.78; Оpubл. в Б.И., 1980; № 24.

136. А.с. 747954 СССР, МКИ E04B 7/08. Пространственное покрытие зданий и сооружений / В.Н.Байков, Г.М.Ефремов, Б.В.Попов (СССР). - № 2490568/29-33; Заявл. 01.06.77; Оpubл. в Б.И., 1980; № 26.

137. А.с. 747955 СССР, МКИ E04B 7/10. Складчатое сооружение / Ю.С. Лебедев, С.В.Ермаков (СССР). - № 2585131/29-33; Заявл. 22.02.78; Оpubл. в Б.И., 1980, № 26.

138. А.с. 767309 СССР, МКИ E04B 7/08. Способ образования сборных купольных оболочек / В.В.Зубков (СССР). - № 2626073/29-33; Заявл. 02.06.78; Оpubл. в Б.И., 1980; № 36.

139. А.с. 783434 СССР, МКИ E04B 7/08. Оболочка вращения / Ю.И. Ермилов, Л.Г.Курбатов, Л.И.Лубо (СССР). - № 2483281/29-33; Заявл. 11.05. 77; Оpubл. в Б.И., 1980; № 44.

140. А.с. 791856 СССР, МКИ E04B 7/10. Сборное покрытие в форме гиперболического параболоида / Л.Е.Спиридонова (СССР). - № 2707341/29-33; Заявл. 02.01.79; Оpubл. в Б.И., 1980; № 48.

141. А.с. 815206 СССР, МКИ E04B 7/12. Покрытие / О.М.Вартанян (СССР). - № 2373690/29-33; Заявл. 21.06.76; Оpubл. в Б.И., 1981; № 11.

142. А.с. 846685 СССР, МКИ E04C 2/30. Пластинчатая структурная плита / Г.Г.Виноградов, Б.А.Миронков (СССР). - № 2804914/29-33; Заявл. 31.07. 79; Оpubл. в Б.И., 1981; № 26.

143. А.с. 855152 СССР, МКИ E04G 11/04. Пневматическая опалубка для возведения монолитных сооружений / Н.Г.Зотова (СССР). - № 2822834 /29-33; Заявл. 03.10.79; Оpubл. в Б.И., 1981; № 30.

144. А.с. 870616 СССР, МКИ E04B 7/14. Складчатое покрытие / Ю.З. Швиденко, А.Н.Фесан (СССР). - № 2724964/29-33; Заявл. 02.02.79; Опубл. в Б.И., 1981, № 37.

145. А.с. 887761 СССР, МКИ E04B 7/08. Складчатое покрытие / О.М. Вартамян (СССР). - № 2904186/29-33; Заявл. 03.04.80; Опубл. Б.И., 1981, № 45.

146. А.с. 903507 СССР, МКИ E04B 7/08. Складчатое покрытие / О.М. Вартамян (СССР). - № 2471582/29-33; Заявл. 01.04.77; Опубл. Б.И., 1982, № 5.

147. А.с. 916697 СССР, МКИ E04B 7/12. Покрытие / В.И.Трофимов, Е. Ю.Давыдов, Н.Л.Нестеренко, А.И.Шатило (СССР). - № 2893588/29- 33; Заявл. 12.03.80; Опубл. в Б.И., 1982; № 12.

148. А.с. 937654 СССР, МКИ E04B 7/08. Сборная железобетонная оболочка / Э.З.Жуковский, В.Ф.Шапля, Г.И.Акулов (СССР). - № 2954840/29-33; Заявл. 10.07.80; Опубл. в Б.И., 1982; № 23.

149. А.с. 937655 СССР, МКИ E04B 7/08. Сетчатый купол / О.М.Вартамян (СССР). - № 2975313/29-33; Заявл. 25.06.80; Опубл. в Б.И., 1982; № 23.

150. А.с. 966185 СССР, МКИ E04B 7/08. Способ образования складчатых цилиндрических оболочек / О.М.Вартамян (СССР). - № 3002251/ 29-33; Заявл. 05.11.80; Опубл. в Б.И., 1982; № 38.

151. А.с. 968245 СССР, МКИ E04C 2/24. Многослойная панель / Н.П. Малярук, В.К.Бондаренко, В.М.Хоботов, В.Г.Савельев (СССР). - № 3225025 /29-33; Заявл. 25.12.80; Опубл. в Б.И., 1982; № 39.

152. А.с. 1006652 СССР, МКИ E04B 1/347. Трансформируемое сводчатое покрытие здания / А.Г.Трущев (СССР). - № 3249155/29-33; Заявл. 23.02. 81; Опубл. в Б.И., 1983; № 11.

153. А.с. 1067173 СССР, МКИ E04G 11/04. Способ возведения монолитных складчатых сводов-оболочек и устройство для его осуществления / Г.С. Андрианова, Н.Д.Драговоз, В.Х.Погребной и др. (СССР). - № 3480876/ 29-33; Заявл. 09.08.82; Опубл. в Б.И., 1984; № 2.

154. А.с. 1101529 СССР, МКИ E04B 7/08. Сводчатое покрытие / А.Г. Трущев, С.В.Симкин (СССР). - № 3443860/29-33; Заявл. 24.05.82; Опубл. в Б.И., 1984; № 25.

155. А.с. 1102874 СССР, МКИ E04B 7/08. Волнистый складчатый свод / Л.М. Семятицкий, Г.Ю.Горский и др. (СССР). - № 3453130/29-33; Заявл. 08.06.82; Оpubл. в Б.И., 1984; № 26.

156. А.с. 1157189 СССР, МКИ E04B 7/08. Складчатое покрытие типа купола / О.М.Вартанян (СССР). - № 3695357/29-33; Заявл. 25.01.84; Оpubл. в Б.И., 1985; № 19.

157. А.с. 1157191 СССР, МКИ E04C 3/06. Строительный элемент типа коробчатой балки / А.Г.Трущев, С.В.Симкин, В.М.Поздникин (СССР). - № 3571783/29-33; Заявл. 04.04.83; Оpubл. в Б.И., 1985; № 19.

158. А.с. 1165757 СССР, МКИ E04B 7/08. Складчатое покрытие типа купола / О.М.Вартанян (СССР). - № 3695358/29-33; Заявл. 25.01.84; Оpubл. в Б.И., 1985; № 25.

159. А.с. 1189963 СССР, МКИ E04B 7/08. Складчатое покрытие / О.М. Вартанян (СССР). - № 3516392/29-33; Заявл. 29.11.82; Оpubл. Б.И., 1985; № 41;

160. А.с. 1221008 СССР, МКИ E04C 2/24. Многослойная ячеистая панель / Н.Н.Сагайдаковский (СССР). - № 3801934/29-33; Заявл. 09.10.84; Оpubл. в Б.И., 1986; № 12.

161. А.с. 1222791 СССР, МКИ E04G 11/04. Пневматическая опалубка для возведения монолитных пространственных покрытий (ее варианты) / А.Г. Трущев, С.В.Симкин (СССР). - № 3743801/29-33; Заявл. 30.03.84; Оpubл. в Б.И., 1986; № 13.

162. А.с. 1222801 СССР, МКИ E04H 7/22. Бункер для сыпучих материалов / Г.П.Иванов, А.Г.Трущев, С.В.Симкин (СССР). - № 3787366/29-33; Заявл. 13.07.84; Оpubл. в Б.И., 1986; № 13.

163. А.с. 1231162 СССР, МКИ E04B 1/343. Трансформируемая перегородка / О.М.Вартанян (СССР). - № 3676366/29-33; Заявл. 22.12.83; Оpubл. в Б.И., 1986; № 18.

164. А.с. 1237759 СССР, МКИ E04C 2/24. Слоистая панель / Н.П.Малярчук, В.К.Бондаренко, В.Г.Савельев, Г.М.Гуня (СССР). - № 3839644/29-33; Заявл. 03.01.85; Оpubл. в Б.И., 1986; № 22.

165. А.с. 1242593 СССР, МКИ E04B 7/08. Пространственное покрытие /

С.В. Симкин, А.Г.Трущев, Р.К.Актанов, С.В.Епифанов (СССР). - № 3683538/29-33; Заявл. 30.12.83; Оpubл. в Б.И.,1986; № 25.

166. А.с. 1315578 СССР, МКИ E04B 7/10. Способ образования складчатых покрытий / О.М.Вартанян (СССР). - № 3899698/29-33; Заявл. 20.05.85; Оpubл. в Б.И., 1987; № 21.

167. А.с. 1337493 СССР, МКИ E04B 7/16. Трансформируемая складчатая структура / О.М.Вартанян (СССР). - № 3968094/29-33; Заявл. 22.10.85; Оpubл. в Б.И., 1987; № 34.

168. А.с. 1352016 СССР, МКИ E04B 7/16. Трансформируемое складчатое покрытие / О.М.Вартанян (СССР). - № 4018189/29-33; Заявл. 06.02.86; Оpubл. в Б.И., 1987; № 42.

169. Заявка 50-11683 Япония, МКИ E04C 2/30; НКИ 86/5/V31. Складная волнистая растягивающаяся строительная конструкция / Миура Коре.- № 45-48213; Заявл. 04.06.70; Оpubл. 06.05.75.

170. Заявка 54-23035 Япония, МКИ B32B 3/28; НКИ 25/9/D21. Рельефный наполнитель слоистых панелей / Миура Коре.- № 46-15585; Заявл. 19.03.71; Оpubл. 10.08.79;

171. Заявка 51-36538 Япония, МКИ E04C 2/34; НКИ 86/5/V32. Фасонная ферма / Накаяма Коге К.К.- № 46-25719; Заявл. 22.04.71; Оpubл. 08.10.77.

172. Заявка 52-19007 Япония, МКИ E04B 1/32; НКИ 86/4/A41. Строительные элементы и конструкции из этих элементов / Арпад Колцвари.- № 45-2208; Заявл. 07.01.70; Оpubл. 25.05.77; Приоритет США 08.01.69; № 789845.

173. Заявка 2510014 Германия, МКИ E04B 1/32. Складчатый купол / Бушмайер Е.- Заявл. 07.03.75; Оpubл. 09.09.76.

174. Pat. 2255434 France, A1, E04B 1/343. Ensemble architectural demontable et pliable / Villemintot P. - № 7346063; 21 Dec. 1973; Publ. 22 Aug. 1975;

175. Pat. 1006454 Great Britain, Int. Cl. E04B 7/10. Improvements in or relating to self-supporting roofs / Bertil O. Zeinetz, Sweden.- Appl. № 34833/61; Filed Sept. 28, 1961; Publ. Oct. 6, 1965.

176. Pat. 1170785 Great Britain, E1A; Int. Cl. E04B 1/344. Foldable building units / Quarmby A.- № 51051/66; 9 Nov. 1967; 12 Nov. 1966; Publ. 19 Nov. 1969.

177. Pat. 1170786 Great Britain, E1A; Int. Cl. E04B 1/344. Improved foldable building units / Quarmby A.- № 3658/67; 25 Jan. 1967; 5 Jan. 1968; Publ. 19 Nov. 1969.

178. Pat. 1208869 Great Britain, Int. Cl. B32B 3/28. Lightweight cellular structure / Michel A.J.Maisire, France.- № 39315/67; Filed 25 Aug. 1966; Conv. appl. No. 74350; Publ. 14 Oct. 1970.

179. Pat. 1280294 Great Britain, E1W; Int. Cl. E04B 1/32. Vaulted construction / Elliott T.- № 52372/68; 21 Oct. 1969; 5 Nov. 1968; Publ. May-Nov. 1972.

180. Pat. 1354159 Great Britain, E1B; Int. Cl. E04C 2/32. Corrugated sheets / Gewiss L.- № 52998/71; 15 Nov. 1971; 2 Dec. 1970; Publ. Feb.-Oct. 1974.

181. Pat. 2093836 USA, US Cl. 108-1. Metallic structure / Yves Guyon, France.- № 41307; Filed Sept. 19, 1935; Publ. Sept. 21, 1937.

182. Pat. 2682235 USA, US Cl. 108-1. Building construction / Richard B.Fuller.- № 261108; Filed Dec. 12, 1951; Publ. June 29, 1954.

183. Pat. 2891491 USA, US Cl.108-1. Building unit / Donald L.Richter.- № 506194; Filed May 5, 1955; Publ. June 23, 1959.

184. Pat. 2905113 USA, US Cl. 108-1. Self-strutted geodesic plydome / Richard B.Fuller.- № 654156; Filed Apr. 22, 1957; Publ. Sept. 22, 1959.

185. Pat. 2912940 USA, US Cl. 108-1. Roof construction / Glorgio Baroni.- № 306480; Filed Aug. 26, 1952; Publ. Nov. 17, 1959.

186. Pat. 2928360 USA, US Cl. 108-1. Flexural tension framing system / Edmund C.Heine.- № 616228; Filed Oct. 16, 1956; Publ. March 15, 1960.

187. Pat. 3016115 USA, US Cl. 52-18; Int. Cl. E04B 1/32. Portable shelter / Richard Harrison et all.- № 754751; Filed Aug. 13, 1958; Publ. Jan. 9, 1962.

188. Pat. 3026651 USA, Int. Cl. E04B 1/32; US Cl. 52-81. Building construction / D.L.Richter.- № 676223; Filed Aug. 5, 1957; Publ. March 27, 1962.

189. Pat. 3028706 USA, US Cl. 52-66. Roof construction / J.P.Falkoner.- № 14810; Filed March 14, 1960; Publ. Apr. 10, 1962.

190. Pat. 3035373 USA, US Cl. 52-18. Roofing arrangement / J.J.E.Mesanger, France.- № 34934; Filed Apr. 15, 1953; Publ. May 22, 1962.

191. Pat. 3063519 USA, US Cl. 52-81. Building structure / Donald L.Richter.-

№ 794564; Filed Feb. 20, 1959; Publ. Nov. 13, 1962.

192. Pat. 3090162 USA, US Cl. 52-80. Building construction / G.Baroni.- № 338740; Filed Feb. 25, 1953; Publ. May 21, 1963.

193. Pat. 3092932 USA, US Cl. 52-80. Skeleton framework for modified hyperbolic paraboloid / W.E.Wilson.- № 825368; Filed July 6, 1959; Publ. June 11, 1963.

194. Pat. 3094812 USA, US Cl. 52-80. Precast unit for forming a hyperbolic paraboloid structure / L.F.Peeler et all.- № 821890; Filed June 22, 1959; Publ. June 25, 1963.

195. Pat. 3139958 USA, US Cl. 52-70. Portable foldable building structure / C.N. De Witt.- № 77228; Filed Dec. 20, 1960; Publ. July 7, 1964.

196. Pat. 3144103 USA, US Cl. 52-245; Int. Cl. E04B 1/32. Arched structure / Theodore H.Krueger.- № 37395; Filed June 20, 1960; Publ. Aug. 11, 1964.

197. Pat. 3186120 USA, US Cl. 52-80. Hyperbolic paraboloid construction / Harold H.Charles.- № 29829; Filed May 18, 1960; Publ. June 1, 1965.

198. Pat. 3186524 USA, US Cl. 52-86. Panelized building construction / Otto L. Spaeth.- № 102226; Filed Apr. 11, 1961; Publ. June 1, 1965.

199. Pat. 3195276 USA, US Cl. 52-643. Method of assembling shell structures consisting of trusses having twisted surface / Takao Itoh, Japan.- № 189415; Filed Apr. 23, 1962; Publ. July 20, 1965.

200. Pat. 3197927 USA, US Cl. 52-81. Geodesic structures / Richard B.Fuller.- № 160450; Filed Dec. 19, 1961; Publ. Aug. 3, 1965.

201. Pat. 3203144 USA, US Cl. 52-81. Liminar geodesic dome / Richard B. Fuller.- № 32268; Filed May 27, 1960; Publ. Aug. 31, 1965.

202. Pat. 3204372 USA, Int. Cl. E04B 1/32; US CL. 52-80. Building panel and method of making same / Donald L.Richter.- Continuation of application № 56585; Sept. 16, 1960. This application № 352872; March 18, 1964.

203. Pat. 3206895 USA, US Cl. 52-15. Hyperbolic paraboloidal roof and method of making the same / Ernst J. De Ridder, Henrico County, Kurt F.Glaser, Chesterfield County.- № 98501; Filed March 27, 1961; Publ. Sept. 21, 1965.

204. Pat. 3266201 USA, US Cl. 52-18. Double cantilever roof structure / V.F.

Christ-Janer.- № 244751; Filed Dec. 14, 1962; Publ. Aug. 16, 1966.

205. Pat. 3280518 USA, US Cl. 52-80. Hyperbolic paraboloid roof structure / Walter S.White.- № 844744; Filed Oct. 6, 1959; Publ. Oct. 25, 1966.

206. Pat. 3333374 USA, US Cl. 52-80. Freely supported deck-construction / Andreas Thyholt, Norway.- № 513353; Filed Dec. 13, 1965; Publ. Aug. 1, 1967.

207. Pat. 3341989 USA, US Cl. 52-81. Construction of stereometric domes / David G.Emmerich, France.- № 472534; Filed May 2, 1963; Publ. Sept. 19, 1967.

208. Pat. 3346998 USA, US Cl. 52-70. Structures formed of triangular building components / D.P.Nelson.- № 378678; Filed June 29, 1964; Publ. Oct. 17, 1967.

209. Pat. 3349525 USA, US Cl. 52-80. Interacting laminar shell structural component / Charles Payne.- № 520699; Filed Jan. 14, 1966; Publ. Oct. 31, 1967.

210. Pat. 3354591 USA, US Cl. 52-81. Octahedral building truss / Richard B.Fuller.- № 416228; Filed Dec. 7, 1964; Publ. Nov. 28; 1967.

211. Pat. 3374588 USA, US Cl. 52-81. Modular curved structure and method of assembly / T.Alfrey.- № 355715; Filed March 30, 1964; Publ. March 26, 1968.

212. Pat. 3389513 USA, US Cl. 52-82; Int. Cl. E04B 1/32. Structural panels and structures containing such panels / Donald H. Ruggles.- № 563554; Filed July 7, 1966; Publ. June 25, 1968.

213. Pat. 3401492 USA, US Cl. 52-86; Int. Cl. E04B 1/32. Building structure / Stephen L.McDonald.- № 607324; Filed Jan.4, 1967; Publ. Sept. 17, 1968.

214. Pat. 3407546 USA, US Cl. 52-18. Foldable shelter structure / H.G.Yates et all.- № 434365; Filed Feb. 23, 1965; Publ. Oct. 29, 1968.

215. Pat. 3427767 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 7/12. Building structure / Ernest R.Schaefer.- № 473769; Filed July 21, 1965; Publ. Feb. 18, 1969.

216. Pat. 3439459 USA, US Cl. 52-18. Construction element / W.J.Silberkuhl, Germany.- № 597460; Filed Nov. 28, 1966; Publ. Apr. 22, 1969.

217. Pat. 3439460 USA, US Cl. 52-81. Geodesic dome structure / Howard B.Allen.- № 653553; Filed July 14, 1967; Publ. Apr. 22, 1969.

218. Pat. 3461626 USA, US Cl. 52-71; Int. Cl. E04B 7/16. Hinged collapsible structural cover / James B.Aitken.- № 599881; Filed Dec. 7, 1966; Publ. Aug. 19; 1969.

219. Pat. 3524288 USA, US Cl. 52-81. Complex non-spherical structures / Antony P.Coppa.- № 839788; Filed June 23, 1969; Publ. Aug. 18, 1970.

220. Pat. 3534513 USA, US Cl. 52-70; Int. Cl. E04B 1/344. Collapsible building unit / James B.Aitken.- № 792681; Filed Jan. 21, 1969; Publ. Oct. 20, 1970.

221. Pat. 3557501 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 2/82. Folded plate structures and components therefor / Arpad Kolozsvary.- № 789845; Filed Jan. 8, 1969; Publ. Jan. 26, 1971.

222. Pat. 3568381 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 7/10. Structural system utilizing membrane structural panels having double ruled quadric surfaces / J.R.Hale.- № 785851; Filed Nov. 27, 1968; Publ. March 9, 1971.

223. Pat. 3614847 USA, US Cl. 52-86. Architectural structure / Pierre Debeaux, France.- № 785454; Filed Dec. 17, 1968; Publ. Oct. 26, 1971.

224. Pat. 3626647 USA, US Cl. 52-80. Curved roof support structure / Harry L.Guzemilian.- № 56441; Filed July 20, 1970; Publ. Dec. 14, 1971.

225. Pat. 3653166 USA, US Cl. 52-80. Laminated roof construction / Solomon Kirschen.- № 877605; Filed Nov. 18, 1969; Publ. Apr. 4, 1972.

226. Pat. 3714749 USA, US Cl. 52-70; Int. Cl. E04B 1/344. Portable building construction / James B.Aitken.- № 177480; Filed Sept.2, 1971; Publ.Feb.6, 1973.

227. Pat. 3722153 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 1/32. Structural system / Stephen C.Baer.- № 34163; Filed May 4, 1970; Publ. March 27, 1973.

228. Pat. 3727356 USA, US Cl. 52-81. Prefabricated structures / Ernst U.Appenzeller.- № 760188; Filed Sept. 17, 1968; Publ. Apr. 17, 1973.

229. Pat. 3729876 USA, Int. Cl. E04B 1/32, 7/08; US Cl. 52-81. Structural component and structures composing the same / Kolozsvary A.- № 109169; Filed Jan. 25, 1969; Publ. May 1, 1973.

230. Pat. 3757478 USA, US Cl. 52-80; Int. Cl. E04B 1/32. Lightweight hyperbolic paraboloid roof structure / Eugene F.Pryor.- № 241021; Filed Apr. 4, 1972; Publ. Sept. 11, 1973.

231. Pat. 3766693 USA, Int. Cl. E04B 1/343; US Cl. 52-71. Shelter structure / Sumner F.Richards.- № 230884; Filed March 1, 1972; Publ. Oct. 23, 1973.

232. Pat. 3774358 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 7/08. Structural mem-

brane panel formed from saddle shaped surface / Jess R.Hale.- № 290101; Filed Sept. 18, 1972; Publ. Nov. 27, 1973.

233. Pat. 3798849 USA, US Cl. 52-80; Int. Cl. E04B 1/32; 7/08. Hyperbolic paraboloid roof structure / Dutton Biggs, Edward V.Konkel.- № 268599; Filed July 3, 1972; Publ. March 26, 1974.

234. Pat. 3854266 USA, Int. Cl. E04G 21/14; US Cl. 52-742. Method of constructing building structures of zig-zag profile / Frank D.Salas.- № 189868; Filed Oct. 18, 1971; Publ. Dec. 17, 1974.

235. Pat. 3916589 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 1/32. Dome construction / Donald L.Richter.- № 458589; Filed Apr. 8, 1974; Publ. Nov. 4, 1975.

236. Pat. 3921349 USA, Int. Cl. E04B 1/32; US Cl. 52-81. Structural component and structures composing the same / Kolozsvary A.- № 109305; Filed Jan. 25, 1971; Publ. Nov. 25, 1975.

237. Pat. 3927496 USA, US Cl. 52-80; Int. Cl. E04B 1/32. Method for constructing a tensile-stress structure and result structures / Joseph A.Kersavage.- № 452363; Filed March 18, 1974; Publ. Dec. 23, 1975.

238. Pat. 3931697 USA, US Cl. 52-80. Modular curved surface space structures / Peter J.Pearce- № 469416; Filed May 13, 1974; Publ. Jan. 13, 1976.

239. Pat. 3939615 USA, US Cl. 52-80. Foldable roof construction element / Roger Sorkin.- № 458320; Filed Apr. 5, 1974; Publ. Feb. 24, 1976.

240. Pat. 3958375 USA, US Cl. 52-80; Int. Cl. E04B 1/32. Prefabricated hyperbolic paraboloid roof / Daniel F.Tully.- № 456522; Filed Apr. 1, 1974; Publ. May 25, 1976.

241. Pat. 4058945 USA, US Cl. 52-244; Int. Cl. E04B 1/32. Polyhedral shell structure / Ronald H.Knapp.- № 458037; Filed Apr. 4, 1974; Publ. Nov. 22, 1977.

242. Pat. 4059932 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 1/32. Self-supporting structural unit having a three-dimension surface / Ronald D.Resch.- № 697701; Filed June 21, 1976; Publ. Nov. 29, 1977.

243. Pat. 4074477 USA, Int. Cl. E04B 1/32; US Cl. 52-86. Modular building structure / John F.Runyon.- № 145768; Filed Sept. 17, 1973; Publ. Feb. 21, 1978.

244. Pat. 4133149 USA, Int. Cl. E04B 1/343; US Cl. 52-70. Foldable portable

shelter / Percy G.Angress.- № 847180; Filed Oct. 31, 1977; Publ. Jan. 9, 1979.

245. Pat. 4145850 USA, Int. Cl. E04B 1/32; US Cl. 52-71. Folding modular structure / J.F.Runyon.- № 879073; Filed Feb. 21, 1978; Publ. March 1979.

246. Pat. 4180950 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 1/32. Dome structure / Wilbert J.Foster.- № 874403; Filed Feb. 2, 1978; Publ. Jan. 1, 1980.

247. Pat. 4265059 USA, Int. Cl. E04B 1/346; US Cl. 52-66. Kiosk / David J.Johnson.- № 969922; Filed Dec. 15, 1978; Publ. Dec. 7, 1980.

248. Pat. 4320603 USA, US Cl. 52-18. Roof construction / Solomon Kirshen.- № 221526; Filed Dec. 31, 1980; Publ. March 23, 1982.

249. Pat. 4359842 USA, US Cl. 52-18; Int. Cl. E04B 1/32. Trapezoidal structures / Rea F.Hooker.- № 55904; Filed July 9, 1979; Publ. Nov. 23, 1982.

250. Pat. 4449348 USA, US Cl. 52-648. Composite static structure / James R.Jacobs.- № 312289; Filed Oct. 16, 1981; Publ. May 22, 1984.

251. Pat. 4502257 USA, US Cl. 52-81; Int. Cl. E04B 1/32. Structural modules / G.Diamond.- № 230899; Filed Feb. 2, 1981; Publ. March 5, 1985.

### **III. Электронные ресурсы сети Интернет:**

252. [origamiart.ru/modulnye-origami/kusudama-bolshaya-origami-mitsunobu-sonobe](http://origamiart.ru/modulnye-origami/kusudama-bolshaya-origami-mitsunobu-sonobe) (дата обрац.: 05.02.21).

253. [parfumpiter.ru/lancome/lancome-hypnose.html](http://parfumpiter.ru/lancome/lancome-hypnose.html) (дата обр.: 05.02.21).

254. [oknamedia.ru/novosti/diagonalnaya-bashnya-iz-zasteklennyh-treugolnyh-graney-v-seule-32734](http://oknamedia.ru/novosti/diagonalnaya-bashnya-iz-zasteklennyh-treugolnyh-graney-v-seule-32734) (дата обрац.: 05.02.21).

255. [Iqboosters.ru/qiyi-twisty-skewb](http://Iqboosters.ru/qiyi-twisty-skewb) (дата обрац.: 05.02.21).

256. [playfootball.com.ua/shop/product/futbolnuyi-miach-adidas-brazuca-match-ball-replica](http://playfootball.com.ua/shop/product/futbolnuyi-miach-adidas-brazuca-match-ball-replica) (дата обрац.: 21.02.21).

257. [vsedelki.kiev.ua/offer-i-id-i-364333-i-kupiti-futbolinyi-mjach-adidas-brazukafinal-15-wembleycafusafinale-16.html](http://vsedelki.kiev.ua/offer-i-id-i-364333-i-kupiti-futbolinyi-mjach-adidas-brazukafinal-15-wembleycafusafinale-16.html) (дата обрац.: 21.02.21).

258. [e-architect.co.uk/dubai/al-bahar-towers-abu-dhabi](http://e-architect.co.uk/dubai/al-bahar-towers-abu-dhabi) (дата обрац.: 22.10.19).

259. [reddit.com/r/architecture/comments/5mflra/sunshades\\_on\\_the\\_al\\_bahr\\_towers\\_abu\\_dhabi/](http://reddit.com/r/architecture/comments/5mflra/sunshades_on_the_al_bahr_towers_abu_dhabi/) (дата обрац.: 22.10.19).

260. [inteltoys.ru/catalog/nastolnye-igry/golovolomki/golovolomki-rubika/1008.html](http://inteltoys.ru/catalog/nastolnye-igry/golovolomki/golovolomki-rubika/1008.html) (дата обращ.: 15.02.21).
261. [deal.by/p3335859-zmejka-rubika-rubiks.html](http://deal.by/p3335859-zmejka-rubika-rubiks.html) (дата обращ.: 15.02.21).
262. [epicentrk.ua/shop/hubr-zmeyka-rubika-shengshou-belo-sinaya-krut-0292-1.html](http://epicentrk.ua/shop/hubr-zmeyka-rubika-shengshou-belo-sinaya-krut-0292-1.html) (дата обращ.: 15.02.21).
263. [galileo24.ru/shengshou-snake-72-zmejka-rubika](http://galileo24.ru/shengshou-snake-72-zmejka-rubika) (дата обр.: 15.02.21).
264. [gra.ua/product/umnyy-kubik-zmeyka-blue-white-smart-cube](http://gra.ua/product/umnyy-kubik-zmeyka-blue-white-smart-cube) (дата обращ.: 15.02.21).
265. [crimeanblog.blogspot.com/2012/11/dom-kupol-vysokoe.html](http://crimeanblog.blogspot.com/2012/11/dom-kupol-vysokoe.html) (дата обращ.: 15.02.21).
266. [elledecoration.ru/news/architecture/el-kuveit-gorod-mechetei-i-neboskrebov-id6759361/](http://elledecoration.ru/news/architecture/el-kuveit-gorod-mechetei-i-neboskrebov-id6759361/) (дата обращ.: 15.02.21).
267. [pinterest.ru/pin/463659724113783678/](http://pinterest.ru/pin/463659724113783678/) (дата обращ.: 15.02.21).
268. [interior.ru/architecture/9755-pier-luidzhi-nervi-arhitektura-kak-vizov.html](http://interior.ru/architecture/9755-pier-luidzhi-nervi-arhitektura-kak-vizov.html) (дата обращ.: 15.02.21).
269. [karporka.ru/community/user/13253/?MODEL=389329](http://karporka.ru/community/user/13253/?MODEL=389329) (дата обращ.: 15.02.21).
270. [holstroy.com.ua/articles/basketball\\_stadium.html](http://holstroy.com.ua/articles/basketball_stadium.html) (дата обращ.: 15.02.21).
271. [modulo.net/en/realizzazioni/olympic-basketball-arena#group-5](http://modulo.net/en/realizzazioni/olympic-basketball-arena#group-5) (дата обращ.: 15.02.21).
272. [ardexpert.ru/article/2439](http://ardexpert.ru/article/2439) (дата обращ.: 15.02.21).
273. [bugaga.ru/interesting/1146758517-neobychnye-zdania-so-vsego-mira-13-foto.html](http://bugaga.ru/interesting/1146758517-neobychnye-zdania-so-vsego-mira-13-foto.html) (дата обращ.: 13.02.22).
274. [alamyimages.fr/photo-image-guggenheim-museum-bilbao-pays-basque-espagne-57508495.html](http://alamyimages.fr/photo-image-guggenheim-museum-bilbao-pays-basque-espagne-57508495.html) (дата обращ.: 05.02.21).
275. [wikipoints.ru/point/363](http://wikipoints.ru/point/363) (дата обращ.: 05.02.21).
276. [inspirationist.net/vasily-klyukins-designing-legends/](http://inspirationist.net/vasily-klyukins-designing-legends/) (дата обращ.: 05.02.21).
277. [designboom.com/design/vasily-klyukin-top-sexy-tower-new-york-city-04-24-2015](http://designboom.com/design/vasily-klyukin-top-sexy-tower-new-york-city-04-24-2015) (дата обращ.: 05.02.21).

278. [oyalpark-vdk.ru/2018/12/30/sovremennaya-arhitektura-porazhayushhaya-voobrazhenie/](http://oyalpark-vdk.ru/2018/12/30/sovremennaya-arhitektura-porazhayushhaya-voobrazhenie/) (дата обращ.: 15.02.21).

279. [zen.yandex.ru/media/id/5ea8432177d8ae256581e0f0/samye-neobychnye-doma-planety-5eadc935cd655a1fde55cae1](https://zen.yandex.ru/media/id/5ea8432177d8ae256581e0f0/samye-neobychnye-doma-planety-5eadc935cd655a1fde55cae1) (дата обращ.: 05.02.21).

280. [vk.com/@domstroi\\_tobolsk-neobychnye-doma](https://vk.com/@domstroi_tobolsk-neobychnye-doma) (дата обращ.: 05.02.21).

281. [lifeglobe.net/blogs/details?id=564](http://lifeglobe.net/blogs/details?id=564) (дата обращ.: 05.02.21).

282. [veditour.ru/corporative/standartnye-varianty-razmeshhenija/](http://veditour.ru/corporative/standartnye-varianty-razmeshhenija/) (дата обращ.: 05.02.21).

283. [handf.mirtesen.ru/blog/43316585173/Dom-slona-i-drugie-zdaniya-v-vide-zhivotnykh-po-vsemu-miru](http://handf.mirtesen.ru/blog/43316585173/Dom-slona-i-drugie-zdaniya-v-vide-zhivotnykh-po-vsemu-miru) (дата обращ.: 05.02.21).

284. [hyperallergic.com/546005/lucy-the-elephant/](http://hyperallergic.com/546005/lucy-the-elephant/) (дата обращ.: 05.02.21).

285. [uznayvse.ru/interesting-facts/samyie-neobyichnyie-doma-v-mire.html](http://uznayvse.ru/interesting-facts/samyie-neobyichnyie-doma-v-mire.html) (дата обращ.: 05.02.21).

286. [telegraf.com.ua/kurezy/3103966-smeshnyie-zdaniya-v-vide-zhivotnykh.html/3/](http://telegraf.com.ua/kurezy/3103966-smeshnyie-zdaniya-v-vide-zhivotnykh.html/3/) (дата обращ.: 15.02.21).

287. [pinterest.ru/pin/863706034765570920/](https://pinterest.ru/pin/863706034765570920/) (дата обращ.: 15.02.21).

288. [pinterest.ru/pin/459437599456173985/](https://pinterest.ru/pin/459437599456173985/) (дата обращ.: 15.02.21).

289. [aquaticurbanism.com/floating-lilypad-city/lilypad-2/](http://aquaticurbanism.com/floating-lilypad-city/lilypad-2/) (дата обращ.: 15.02.21).

290. <https://www.prohandmade.ru/dacha/elektricheskaya-energiya-iz-energii-voln/> (дата обращ.: 16.02.21).

291. [buvali.ru/ispaniya/tenerife/plyazhi/santa-krus-de-tenerife](http://buvali.ru/ispaniya/tenerife/plyazhi/santa-krus-de-tenerife) (дата обращ.: 15.02.21).

292. [poleteli.ru/progulki-po-gorodam/614-gorod-iskusstv-i-nauk-v-ispanii.html](http://poleteli.ru/progulki-po-gorodam/614-gorod-iskusstv-i-nauk-v-ispanii.html) (дата обращ.: 15.02.21).

293. [pinterest.ru/pin/495396027743230600/](https://pinterest.ru/pin/495396027743230600/) (дата обращ.: 15.02.21).

294. [en.m.wikipedia.org/wiki/File:Lotus\\_Temple\\_in\\_New\\_Delhi\\_03-2016.jpg](http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Lotus_Temple_in_New_Delhi_03-2016.jpg) (дата обращ.: 15.02.21).

295. [zaha-hadid.com/architecture/lusail-hotel/](http://zaha-hadid.com/architecture/lusail-hotel/) (дата обращ.: 15.02.21).

296. [putidorogi-nn.ru/100-chudes-sveta/531-sidneyskiy-operniy-teatr](http://putidorogi-nn.ru/100-chudes-sveta/531-sidneyskiy-operniy-teatr) (дата обращ.: 15.02.21).
297. [pinterest.ru/pin/739505201286516599/](http://pinterest.ru/pin/739505201286516599/) (дата обращ.: 15.02.21).
298. <https://zadumkin.ru/blog/creative/194.html> (дата обращ.: 06.07.19).
299. [360photography.in/archives/13928](http://360photography.in/archives/13928) (дата обращ.: 02.03.21).
300. [roskofrenija.blogspot.com/2012/09/michael-hansmeuer-organsko-filigranske.html](http://roskofrenija.blogspot.com/2012/09/michael-hansmeuer-organsko-filigranske.html) (дата обращ.: 02.03.21).
301. [daftap33blog.wordpress.com/2014/12/07/digital-grotesque-by-michael-hansmeyer-and-benjamin-dillenburger/](http://daftap33blog.wordpress.com/2014/12/07/digital-grotesque-by-michael-hansmeyer-and-benjamin-dillenburger/) (дата обращ.: 02.03.21).
302. [free3d.com/3d-model/parametric-wall-07-7730.html](http://free3d.com/3d-model/parametric-wall-07-7730.html) (дата обращ.: 02.03.21).
303. [parametrichouse.com/deadalus-pavilion/](http://parametrichouse.com/deadalus-pavilion/) (дата обращ.: 02.03.21).
304. [design-guru.moscow/parametricheskaya-mebel/](http://design-guru.moscow/parametricheskaya-mebel/) (дата обращ.: 02.03.21).
305. <https://akievgalgei.livejournal.com/tag/башни> (дата обращ.: 11.10.18).
306. <https://caucasus-explorer.com/ekskursiya-v-ingushetiyyu-chechnyu/> (дата обращ.: 11.10.18).
307. <https://www.yuga.ru/photo/3608.html> (дата обращ.: 11.10.18).
308. [www.np-ciz.ru/information/\\_press-releases/?articles\\_ID=2](http://www.np-ciz.ru/information/_press-releases/?articles_ID=2) (дата обращ.: 11.10.18).
309. [Russia-open.com/regions/2014/02/19/RESPUBLIKA-CHECHNYA.phtml](http://Russia-open.com/regions/2014/02/19/RESPUBLIKA-CHECHNYA.phtml) (дата обращ.: 11.10.18).
310. [pinterest.fr/pin/444167581983631608/](http://pinterest.fr/pin/444167581983631608/) (дата обращ.: 23.04.21).
311. [museum.ge/index.php?land\\_id=ENG&sec\\_id=100&info\\_id=13516](http://museum.ge/index.php?land_id=ENG&sec_id=100&info_id=13516) (дата обращ.: 17.08.18).
312. <https://www.liveinternet.ru/tags/дарбази> (дата обращ.: 17.08.18).
313. <https://ok.ru/abadakhsho/topic/63326965806488> (дата обращ.: 17.08.18).
314. [wandainoman.blogspot.com/2013/05/atlantis-palm-dubai.html](http://wandainoman.blogspot.com/2013/05/atlantis-palm-dubai.html) (дата обращ.: 15.09.18).
315. <https://yandex.ru/collections/card/59a3ac569f759a6f349ffb7a/> (дата об-

ращ.: 12.10.18).

316. <https://www.pressfoto.ru/image-1001097> (дата обращ.: 15.09.18).

317. [bouriac.ru/BT/UAE/Sharjah.html](http://bouriac.ru/BT/UAE/Sharjah.html) (дата обращ.: 15.09.18).

318. <https://mprgroup.ru/ohrannoy-signalizatsii/detskiy-natsionalnyy-kazahskiy-kostum-dlya-fotoshopa-skachat.php> (дата обращ.: 20.01.18).

319. [mirkrasiv.ru/articles/neboskryob-guanghzou-circle-ili-zolotoi-ponchik-guanchzhou-kitai.html](http://mirkrasiv.ru/articles/neboskryob-guanghzou-circle-ili-zolotoi-ponchik-guanchzhou-kitai.html) (дата обращ.: 21.11.19).

320. [ru.depositphotos.com/18178283/stock-photo-old-chinese-coins.html](http://ru.depositphotos.com/18178283/stock-photo-old-chinese-coins.html) (дата обращ.: 21.11.19).

321. [prelestno24.ru/wp-content/uploads/2018/01/KalendarMayya.jpeg](http://prelestno24.ru/wp-content/uploads/2018/01/KalendarMayya.jpeg) (дата обращ.: 21.11.19).

322. [fresher.ru/2011/12/02/artefakty-actekov-i-majya/](http://fresher.ru/2011/12/02/artefakty-actekov-i-majya/) (дата обр.: 21.11.19).

323. <https://i.pinimg.com/736x/2c/53/d9/2c53d97ca76b62438fa768f777377dd1.jpg> (дата обращ.: 21.11.19).

324. [https://cdn-images-1.medium.com/max/1041/1\\*rb2Rm\\_nmgeOyvQHG178LXw.png](https://cdn-images-1.medium.com/max/1041/1*rb2Rm_nmgeOyvQHG178LXw.png) (дата обращ.: 21.11.19).

325. <https://farta.livejournal.com/52187.html> (дата обращ.: 21.11.19).

326. [https://cdn.pixabay.com/photo/2017/03/23/04/31/unam-2167334\\_1280.jpg](https://cdn.pixabay.com/photo/2017/03/23/04/31/unam-2167334_1280.jpg) (дата обращ.: 21.11.19).

327. <https://collections.yandex.ru/user/shevchukiury/sovremennaia-arkhitektura> (дата обращ.: 19.05.17).

**IV. Перечень публикаций автора в периодических изданиях  
перечня ВАК РФ по теме диссертации  
а) статьи:**

328. Коротич, А.В. Инновационные решения архитектурных оболочек: альтернатива традиционному строительству /А.В.Коротич //Академический вестник УралНИИпроект РААСН.- 2015.- № 4.- С. 70-75, ил.

329. Коротич, А.В. Новые архитектурные формы линейчатых квазимногогранников [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов. - 2015.- № 2(50).- URL: [http://archvuz.ru/2015\\_2/3](http://archvuz.ru/2015_2/3).

330. Коротич, А.В. Новые технологии архитектурного моделирования пространства /А.В.Коротич //Академический вестник УралНИИпроект РА-

АСН.- 2017. - № 2.- С. 38-43, ил.

331. Коротич, А.В. Общая теория плотнейшего заполнения трехмерного пространства равными многогранниками [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2017.- № 3(59).- URL: [http://archvuz.ru/2017\\_3/6](http://archvuz.ru/2017_3/6).

332. Коротич, А.В. Конструирование компактных пространственных модульных структур [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов. - 2017.- № 4(60).- URL: [http://archvuz.ru/2017\\_4/6](http://archvuz.ru/2017_4/6).

333. Коротич, А.В. Гидротехнические промышленные сооружения как объекты современного дизайна /А.В.Коротич //Дизайн. Материалы. Технология.- 2021.- № 3(63).- С. 17-22, ил.

334. Коротич, А.В. Принцип «универсальности формы» в дизайне и классификация регулярных дискретных структур /А.В.Коротич //Дизайн. Материалы. Технология.- 2021.- № 4(64).- С. 9-16, ил.

335. Коротич, А.В. Дизайн акустических звукорассеивающих интерьерных оболочек-экранов /А.В.Коротич //Дизайн и технологии.- 2020.- № 80 (122).- С. 20-30, ил.

336. Коротич, А.В. Дизайн изоэдральных сферических оболочек /А.В.Коротич //Дизайн и технологии.- 2021.- № 81(123).- С. 6-15, ил.

337. Коротич, А.В. Дизайн новых типов линейчатых квазимногогранников из гиперболических параболоидов /А.В.Коротич //Дизайн и технологии.- 2022.- № 87(129).- С. 75-83, ил.

338. Коротич, А.В. Фасадная детализация как важнейший компонент художественного имиджа современной высотной архитектуры [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2019.- № 1(65).- URL: [http://archvuz.ru/2019\\_1/1](http://archvuz.ru/2019_1/1).

339. Коротич, А.В. Морфология высотной архитектуры: творческие аспекты [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2019.- № 3(67).- URL: [http://archvuz.ru/2019\\_3/3](http://archvuz.ru/2019_3/3).

340. Коротич, А.В. Графическое конструирование непризматических выпуклых многогранников плотнейшего заполнения пространства [Электронный

ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2019.- № 3(67).- URL: [http://archvuz.ru/2019\\_3/15](http://archvuz.ru/2019_3/15).

341. Коротич, А.В. Актуальные аспекты формирования национальной архитектуры и средового дизайна [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2020.- № 1(69).- URL: [http://archvuz.ru/2020\\_1/2](http://archvuz.ru/2020_1/2).

342. Коротич, А.В. Дизайн и архитектура: проблемы взаимодействия [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2021.- № 1(73).- URL: [http://archvuz.ru/2021\\_1/17](http://archvuz.ru/2021_1/17).

343. Коротич, А.В. Некоторые морфологические аспекты фоомообразования регулярных дискретных структур в дизайне [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2021.- № 2(74).- URL: [http://archvuz.ru/2021\\_2/14](http://archvuz.ru/2021_2/14).

344. Коротич, А.В. Основные направления геометрического формообразования регулярных дискретных структур в дизайне [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2021.- № 3(75).- URL: [http://archvuz.ru/2021\\_3/24](http://archvuz.ru/2021_3/24).

345. Коротич, А.В. Формотворческие стратегии моделирования регулярных дискретных структур в дизайне [Электронный ресурс] /А.В.Коротич //Архитектон: известия вузов.- 2021.- № 4(76).- URL: [http://archvuz.ru/2021\\_4/29](http://archvuz.ru/2021_4/29).

**б) патенты РФ на полезные модели и промышленный образец:**

346. Патент 83263 РФ, МПК E04C 2/24. Экран звукорассеивающий /А.В.Коротич (РФ). - № 2008153035/22; Заявл. 31.12.08; Оpubл. 27.05.09; Бюл. № 15.

347. Патент 92048 РФ, МПК E04B 7/10. Оболочка сводчатая /А.В.Коротич (РФ). - № 2009143402/22; Заявл. 23.11.09; Оpubл. 10.03.10; Бюл. № 7.

348. Патент 116536 РФ, МПК E04C 3/04. Элемент каркаса зданий и сооружений /А.В.Коротич (РФ). - № 2011152374/03; Заявл. 21.12.11; Оpubл. 27.05.12; Бюл. № 15.

349. Патент 116542 РФ, МПК E04H 5/12. Сооружение /А.В.Коротич (РФ). - № 2011152380/03; Заявл. 21.12.11; Оpubл. 27.05.12; Бюл. № 15.

350. Патент 116543 РФ, МПК E04H 5/12. Сооружение /А.В.Коротич (РФ). - № 2012101523/03; Заявл. 16.01.12; Оpubл. 27.05.12; Бюл. № 15.

351. Патент 117940 РФ, МПК E04B 1/00. Элемент строительный /А.В.Коротич (РФ). - № 2012101522/03; Заявл. 16.01.12; Оpubл. 10.07.12; Бюл. № 19.

352. Патент 117946 РФ, МПК E04B 7/10. Покрытие радиальное /А.В.Коротич (РФ). - № 2011152368/03; Заявл. 21.12.11; Оpubл. 10.07.12; Бюл. № 19.

353. Патент 131026 РФ, МПК E04B 7/10. Покрытие радиальное /А.В.Коротич (РФ). - № 2012124192; Заявл. 09.06.12; Оpubл. 10.08.13; Бюл. № 22.

354. Патент 201655 РФ, МПК E04B 1/32. Модуль строительный /А.В.Коротич (РФ). - № 2020128660; Заявл. 28.08.20; Оpubл. 25.12.20; Бюл. № 36.

355. Патент 202447 РФ, МПК E04B 1/32. Плита структурная /А.В.Коротич (РФ). - № 2020137458; Заявл. 16.11.20; Оpubл. 18.02.21; Бюл. № 5.

356. Патент 202448 РФ, МПК E04B 1/32. Плита структурная /А.В.Коротич (РФ). - № 2020137459; Заявл. 16.11.20; Оpubл. 18.02.21; Бюл. № 5.

357. Патент 204592 РФ, МПК E04B 1/32. Плита структурная /А.В.Коротич (РФ). - № 2021105751; Заявл. 05.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.

358. Патент 204593 РФ, МПК E04B 7/08. Купол сфероподобный /А.В.Коротич (РФ). - № 2021105942; Заявл. 09.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.

359. Патент 204594 РФ, МПК E04B 7/08. Купол складчатый /А.В.Коротич (РФ). - № 2021106506; Заявл. 12.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.

360. Патент 204595 РФ, МПК E04B 1/00. Модуль составной /А.В.Коротич (РФ). - № 2021106507; Заявл. 12.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.

361. Патент 204596 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). -№ 2021106509; Заявл.12.03.21;Оpubл.01.06.21; Бюл.№ 16.

362. Патент 204597 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). -№ 2021106814; Заявл.16.03.21;Оpubл.01.06.21; Бюл.№ 16.

363. Патент 204598 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). -№ 2021106845; Заявл.16.03.21;Оpubл.01.06.21; Бюл.№ 16.

364. Патент 204600 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). -№ 2021106846; Заявл.16.03.21;Оpubл.01.06.21; Бюл.№ 16.

365. Патент 204604 РФ, МПК E04C 2/30. Плита структурная /А.В.Коротич (РФ). - № 2021105750; Заявл. 05.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.

366. Патент 204605 РФ, МПК E04B 1/32. Модуль сферический /А.В.Ко-

ротич (РФ). - № 2021105940; Заявл. 09.03.21; Оpubл. 01.06.21; Бюл. № 16.

367. Патент 204649 РФ, МПК E04B 1/19. Модуль плотнейшей структуры / А.В.Коротич (РФ). -№ 2021106843; Заявл.16.03.21;Оpubл.02.06.21; Бюл.№ 16.

368. Патент 204908 РФ, МПК E04B 7/20. Плита структурная /А.В.Коротич (РФ). - № 2021105749; Заявл. 05.03.21; Оpubл. 17.06.21; Бюл. № 17.

369. Патент 204910 РФ, МПК E04B 1/00. Модуль строительный /А.В.Коротич (РФ). - № 2021105748; Заявл. 05.03.21; Оpubл. 17.06.21; Бюл. № 17.

370. Патент 204912 РФ, МПК E04B 1/00. Модуль сферический /А.В.Коротич (РФ). - № 2021105939; Заявл. 09.03.21; Оpubл. 17.06.21; Бюл. № 17.

371. Патент 205021 РФ, МПК E04B 1/32. Модуль сферический /А.В.Коротич (РФ). - № 2021105941; Заявл. 09.03.21; Оpubл. 23.06.21; Бюл. № 18.

372. Патент 205022 РФ, МПК E04B 7/00. Модуль пирамидообразный /А.В. Коротич (РФ). -№ 2021106508; Заявл.12.03.21;Оpubл.23.06.21; Бюл.№ 18.

373. Патент 207516 РФ, МПК E04B 7/10, 1/343. Модуль складной /А.В. Коротич (РФ). - № 2021121128; Заявл. 16.07.21; Оpubл. 01.11.21; Бюл. № 31.

374. Патент 207561 РФ, МПК E04B 1/32. Модуль раздвижной /А.В.Коротич (РФ). - № 2021121129; Заявл. 16.07.21; Оpubл. 02.11.21; Бюл. № 31.

375. Патент 209140 РФ, МПК E04B 7/10. Покрытие радиальное /А.В.Коротич (РФ). - № 2021121126; Заявл. 16.07.21; Оpubл. 02.02.22; Бюл. № 4.

376. Патент 82406 РФ, МКПО 21-01. Конструктор гибкий /А.В.Коротич (РФ). - № 2011501536; Заявл. 23.05.11; Оpubл. 16.07.12; Бюл. № 7.

**V. Статьи в прочих специализированных периодических изданиях, материалы международных и всероссийских научных конференций:**

377. Коротич, А.В. Методика архитектурного формообразования изоэдральных сферических оболочек /А.В.Коротич //Градостроительство.- 2014.- № 4.- С. 49-52, ил.

378. Коротич, А.В. Формообразование складчатых акустических конструкций зальных интерьеров с использованием листовых материалов KNAUF /А.В. Коротич //Технологии KNAUF.- 2014.- № 22.- С. 18, ил.

379. Korotich, A.V. Shaping the folded acoustic structures of the hall interiors using KNAUF board materials.- Reports digest of International Conference «Acou-

stics in Architecture as an element of a high-quality building», 2014, October 22, Moscow.- p.61-66, il.

380. Коротич, А.В. Архитектурно-дизайнерское формообразование в контексте развития современных информационных технологий //Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве» НИТАС'2019, 5-7 ноября 2019г.- Екатеринбург: Уральский государственный архитектурно-художественный университет, 2019.- С. 24.

381. Коротич, А.В. Графическое моделирование новых форм архитектурно-дизайнерских объектов //Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве» НИТАС'2020, 5-6 ноября 2020г.- Екатеринбург: Уральский государственный архитектурно-художественный университет, 2020.- С. 13.

382. Коротич, А.В. Информационные технологии в параметрическом дизайне //Материалы IV Международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве» НИТАС'2021, 2-3 ноября 2021г.- Екатеринбург: Уральский государственный архитектурно-художественный университет, 2021.- С. 22.

383. Коротич, А.В. Зодчество и дизайн: эффективный диалог или конфликт интересов? //Материалы научной конференции «Современная архитектура мира: основные процессы и направления развития», 5 октября 2020г.- Москва: НИИТИАГ (филиал «ЦНИИП Минстроя России»), 2020.

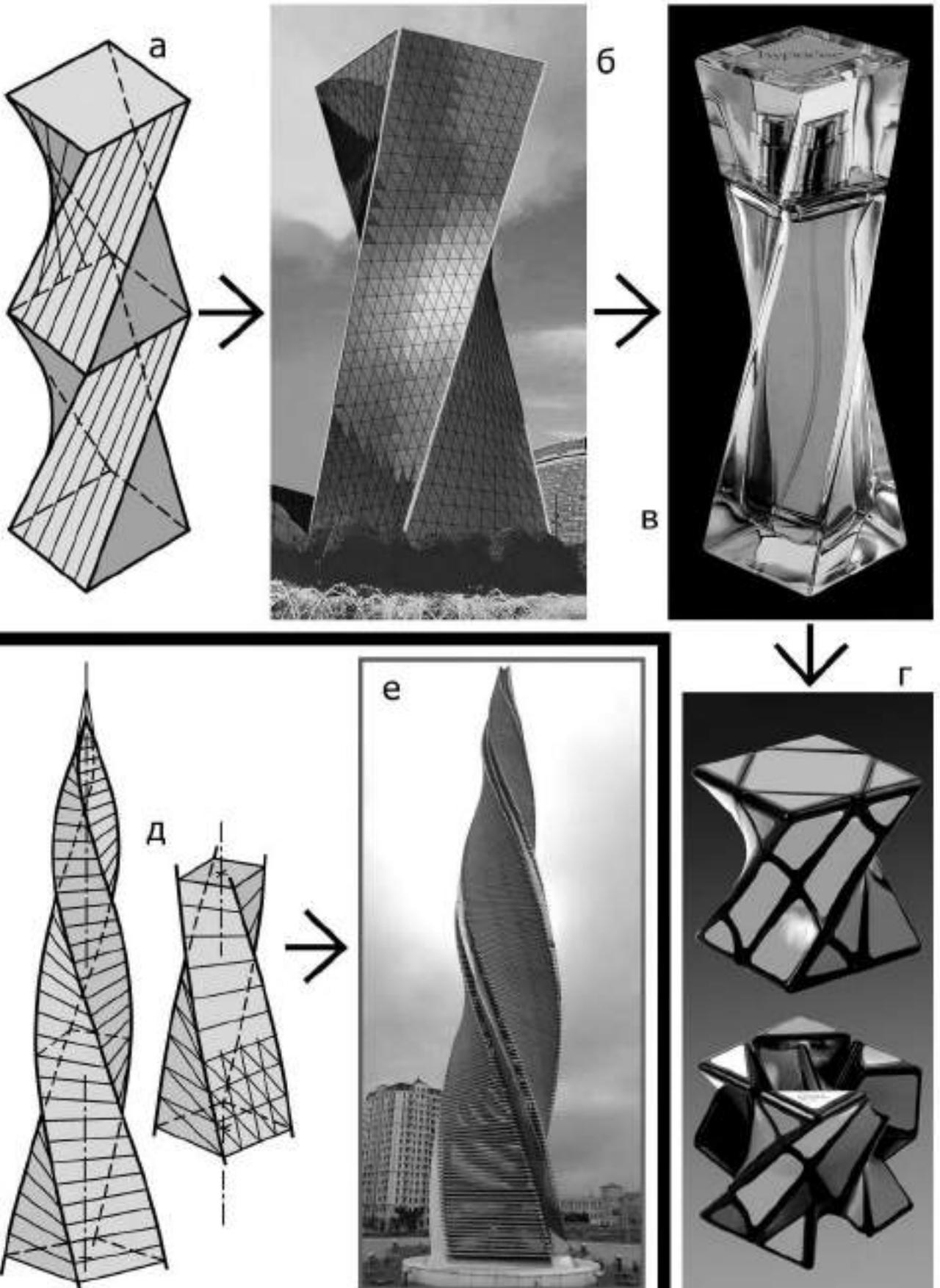
**П Р И Л О Ж Е Н И Е**  
**/иллюстрации/**

<b>ГЛАВА 1.</b> Развитие регулярных дискретных структур в дизайне: морфологическая типология и формотворческие направления.....	271
<b>ГЛАВА 2.</b> Научно-методические основы геометрического моделирования новых регулярных дискретных структур различных морфологических классов.....	307
<b>ГЛАВА 3.</b> Перспективы практического использования полученных регулярных дискретных структур в различных сферах дизайна.....	368

# регулярные дискретные структуры- универсальный инструмент дизайна

1

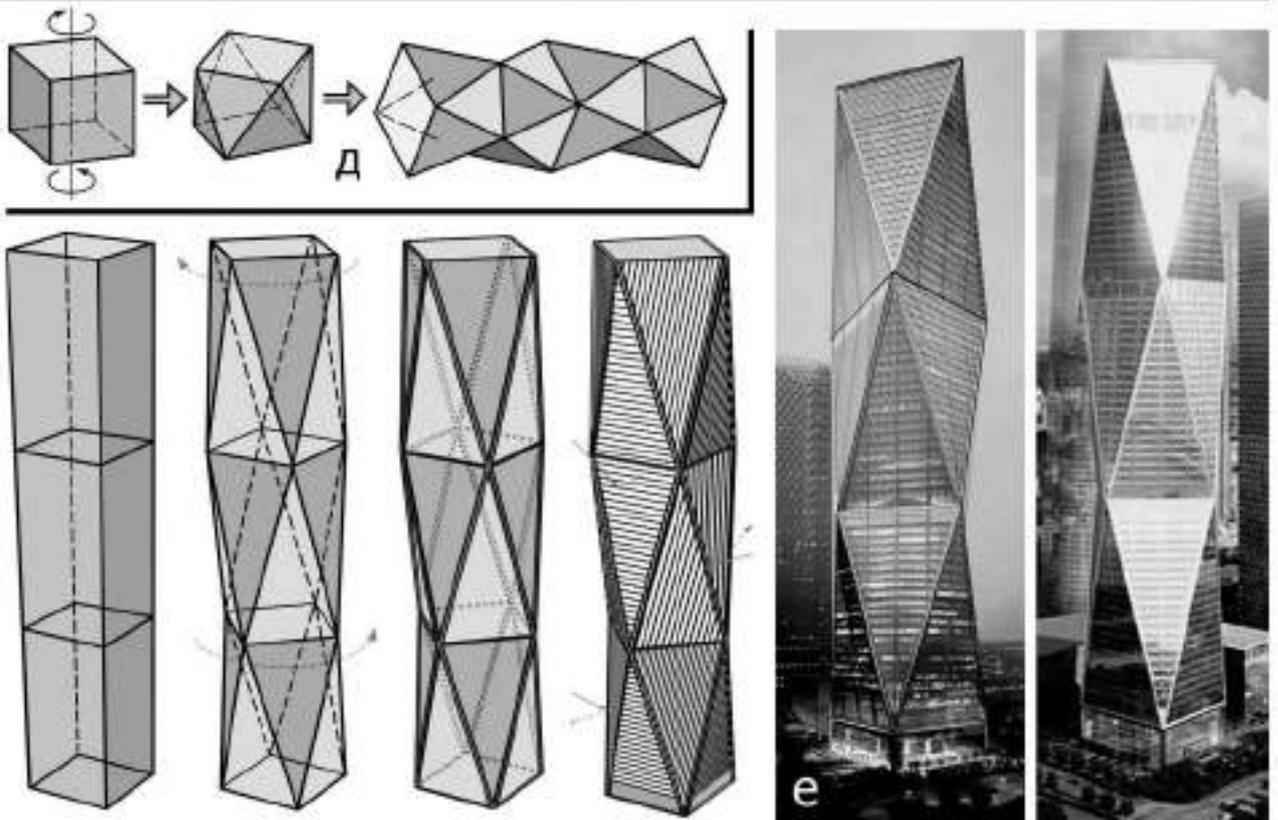
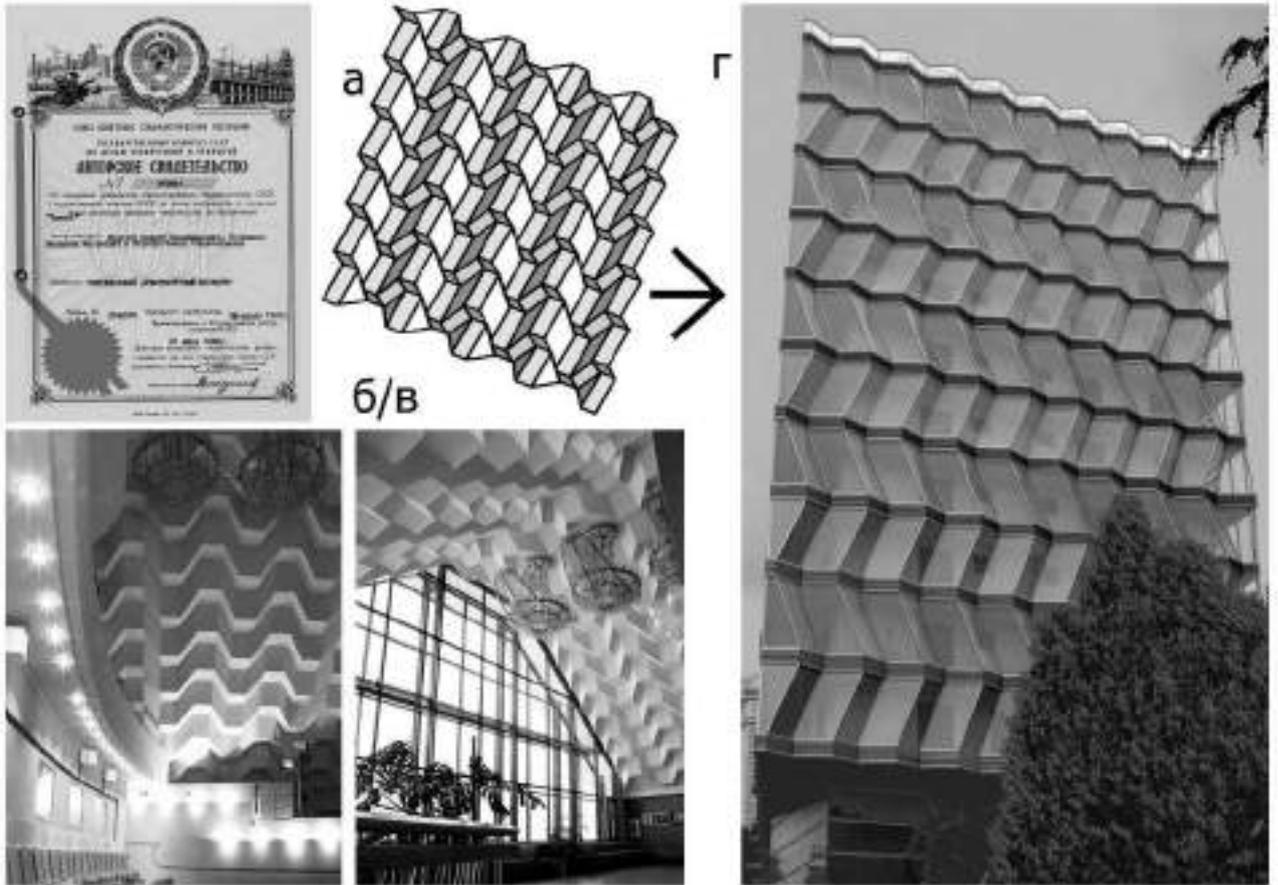
Рисунок 1 - Проявление принципа "универсальности формы" в дизайне в контексте прогрессирующей архитектурно-дизайнерской профессиональной конвергенции. Регулярные дискретные структуры как средство создания объектов расширенной функциональной номенклатуры, отличающихся оригинальностью формы и технической эффективностью. Источники информации: в- [253]; г- [255]; а,б,д,е- разработки и фото Коротича А.В.



## регулярные дискретные структуры- универсальный инструмент дизайна

2

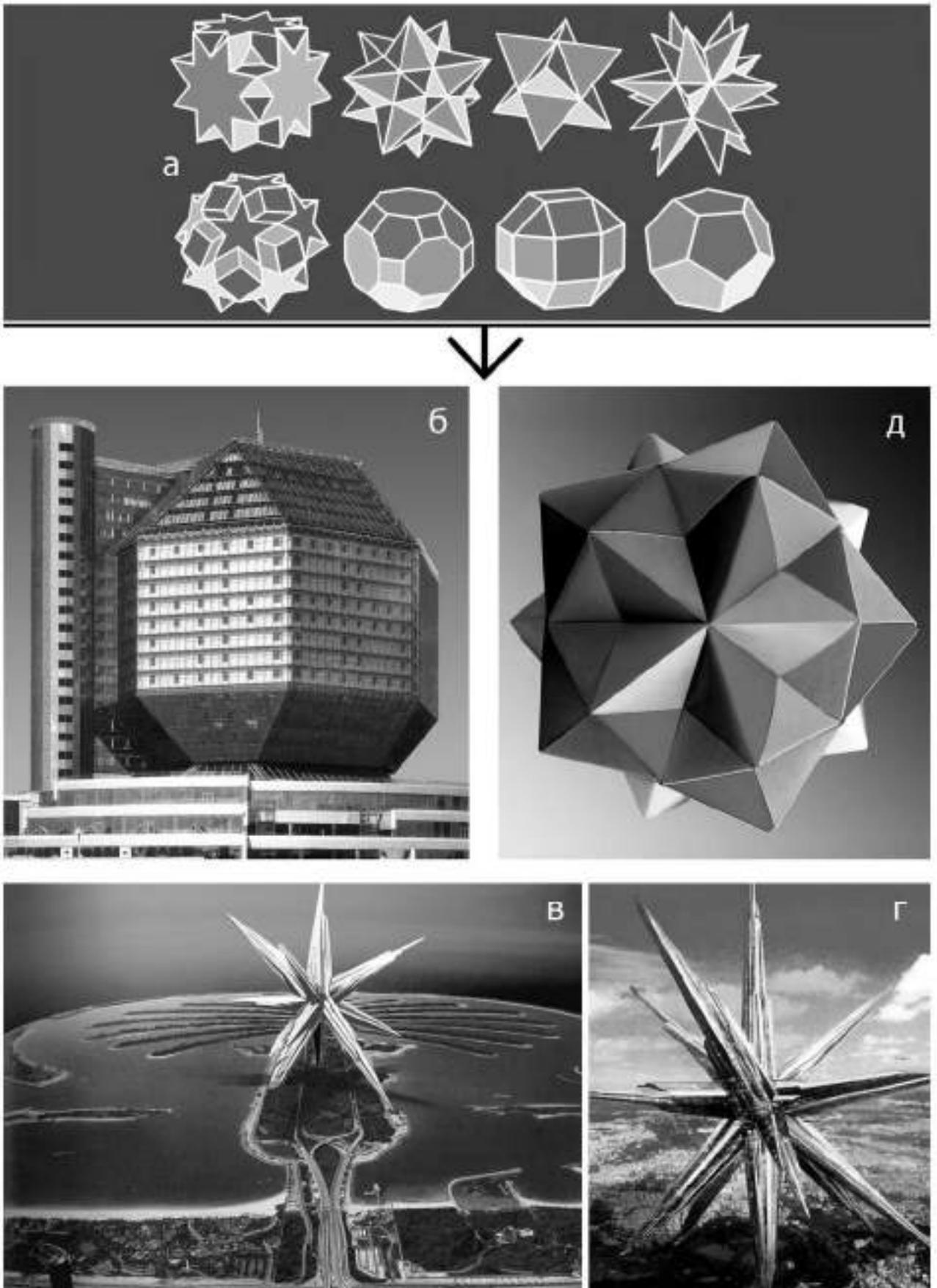
Рисунок 2 - Проявление принципа "универсальности формы" в дизайне в контексте прогрессирующей архитектурно-дизайнерской профессиональной конвергенции. Регулярные дискретные структуры как средство создания объектов расширенной функциональной номенклатуры, отличающихся оригинальностью формы и технической эффективностью. Источник информации: е- [254]; а,б,в,г,д- разработки, рисунки и фото Коротича А.В.



### регулярные дискретные структуры- универсальный инструмент дизайна

3

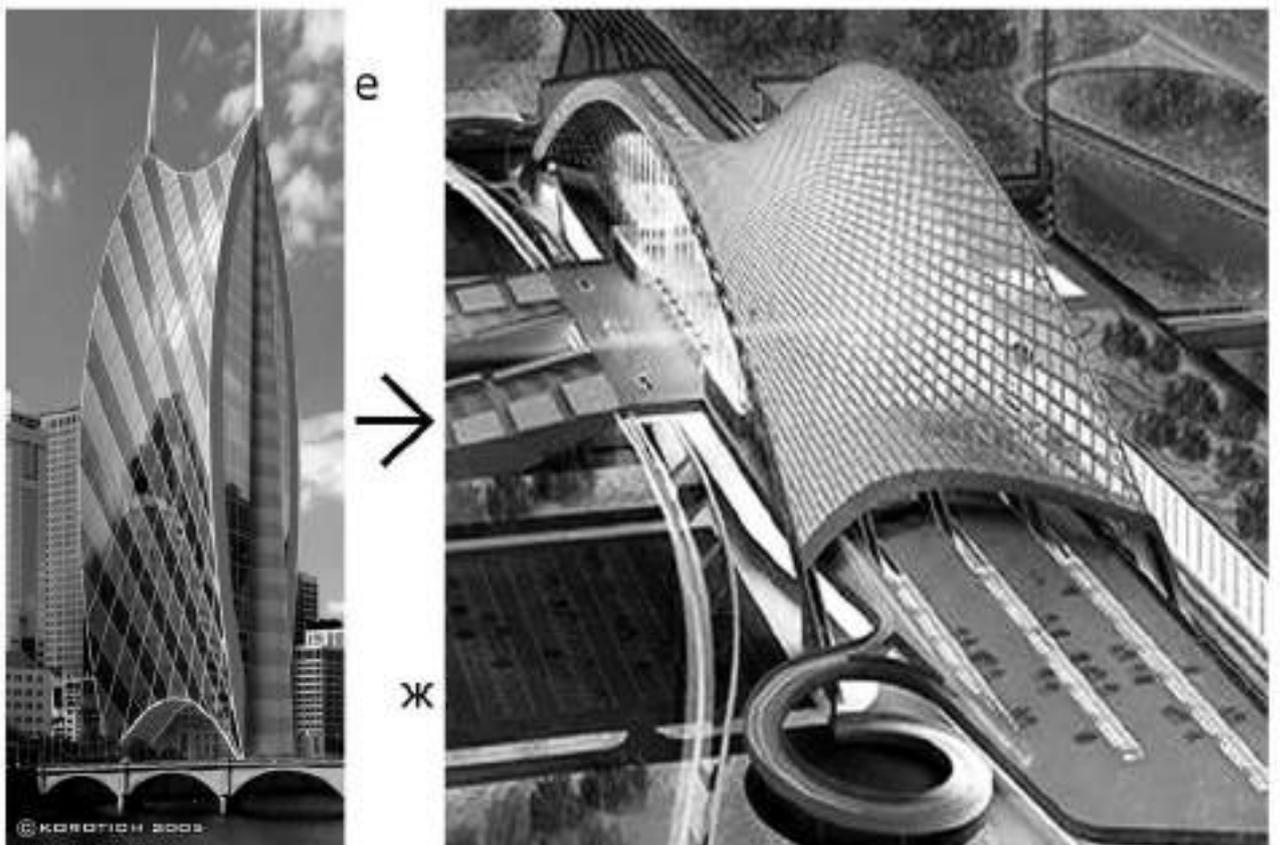
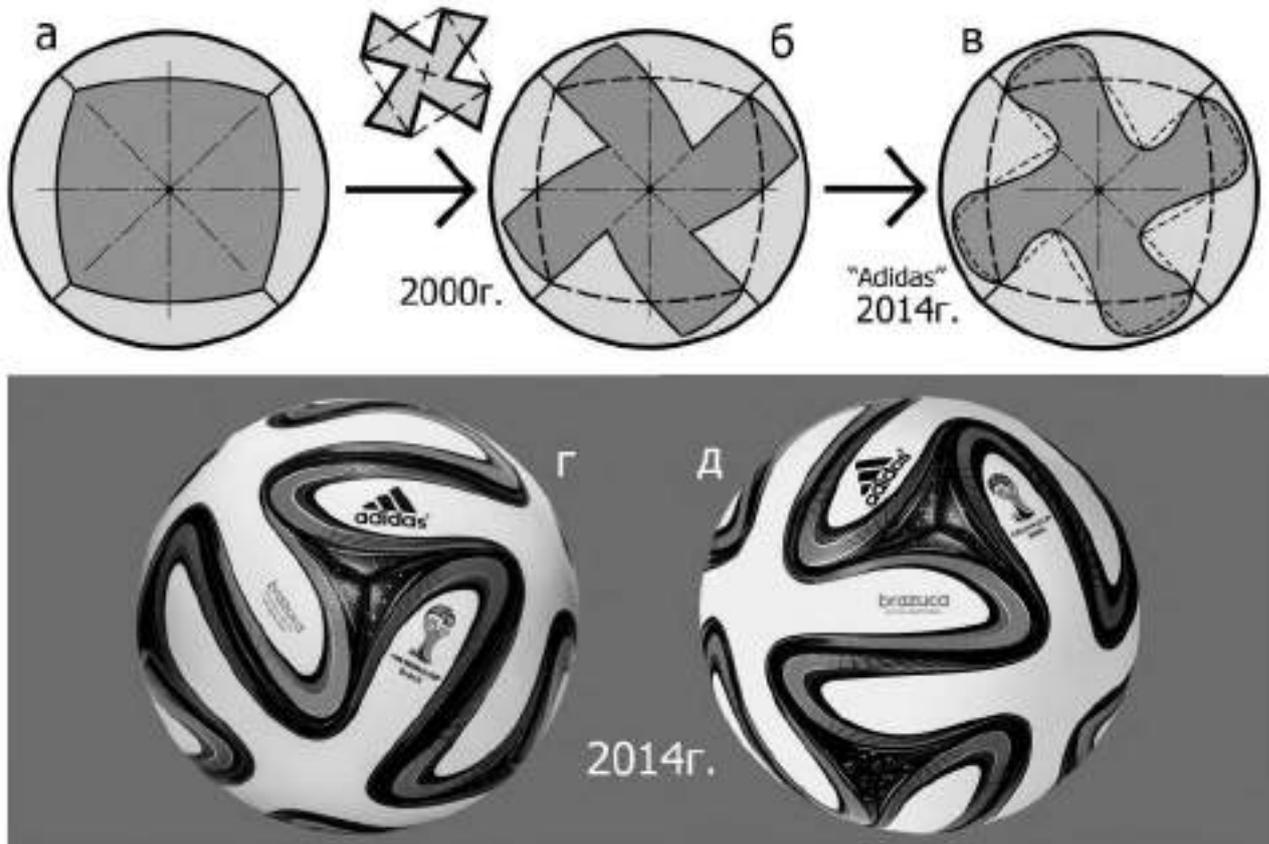
Рисунок 3 - Проявление принципа "универсальности формы" в дизайне в контексте прогрессирующей архитектурно-дизайнерской профессиональной конвергенции. Регулярные дискретные структуры как средство создания объектов расширенной функциональной номенклатуры, отличающихся оригинальностью формы и технической эффективностью. Источник информации: а- [ 24 ]; б,в,г- [ 42 ]; д- [252].



# регулярные дискретные структуры- универсальный инструмент дизайна

4

Рисунок 4 - Проявление принципа "универсальности формы" в дизайне в контексте прогрессирующей архитектурно-дизайнерской профессиональной конвергенции. Регулярные дискретные структуры как средство создания объектов расширенной функциональной номенклатуры, отличающихся оригинальностью формы и технической эффективностью. Источник информации: г- [256]; д- [257]; а, б, в, е- разработки и рисунки Коротича А.В.

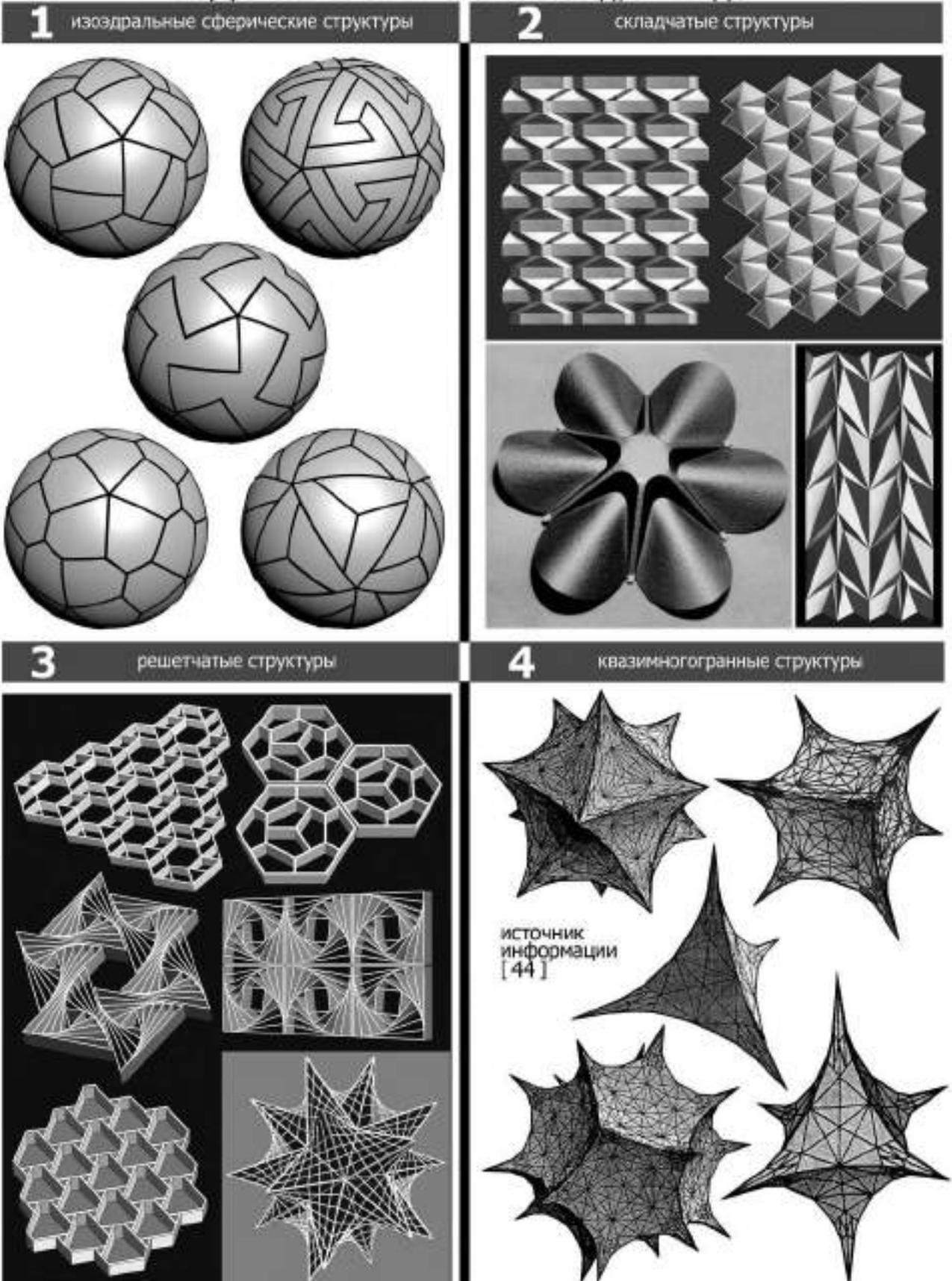


# объект исследования- регулярные дискретные структуры в дизайне

5

Рисунок 5 - Систематизация основных морфологических типов регулярных дискретных структур, предлагаемых в качестве универсального форматворческого инструмента современного дизайна различных функциональных направлений и отраслей. Раскрытие композиционно-художественного потенциала и технической эффективности данных структур- цель настоящего исследования. Автор разработок и рисунков (кроме п.4) Коротин А.В.

## Морфологическая типология исследуемых РДС

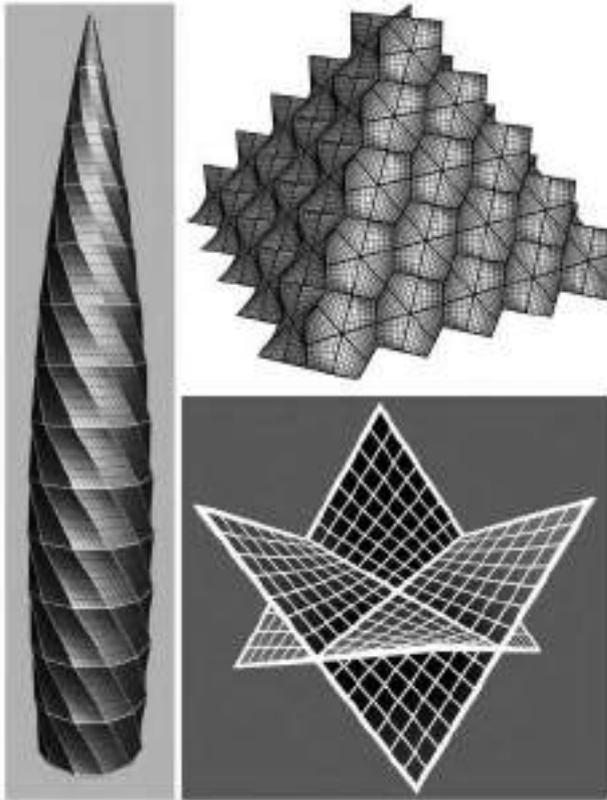


## объект исследования- регулярные дискретные структуры в дизайне

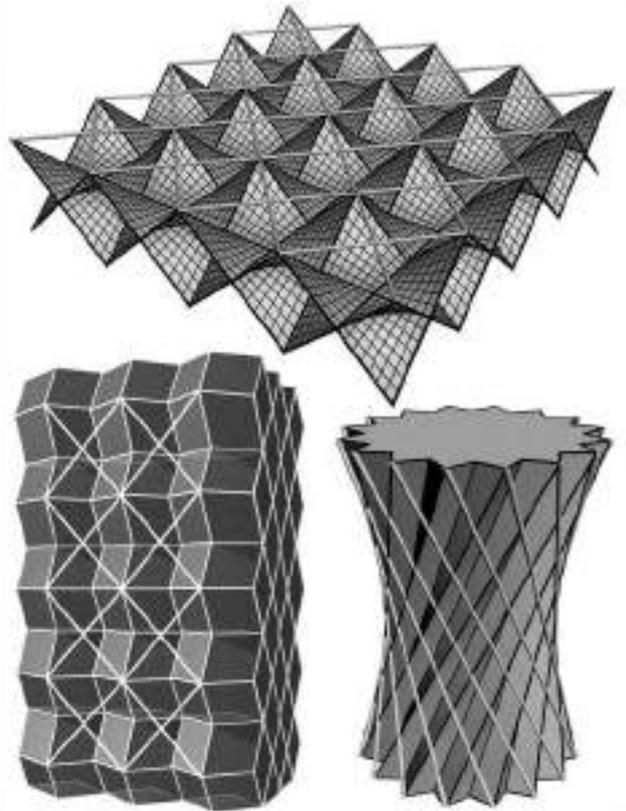
6

Рисунок 6 - Систематизация основных морфологических типов регулярных дискретных структур, предлагаемых в качестве универсального формотворческого инструмента современного дизайна различных функциональных направлений и отраслей. Раскрытие композиционно-художественного потенциала и технической эффективности данных структур- цель настоящего исследования. Автор разработок в пп.5-6 и рисунков в п.7 Коротич А.В.

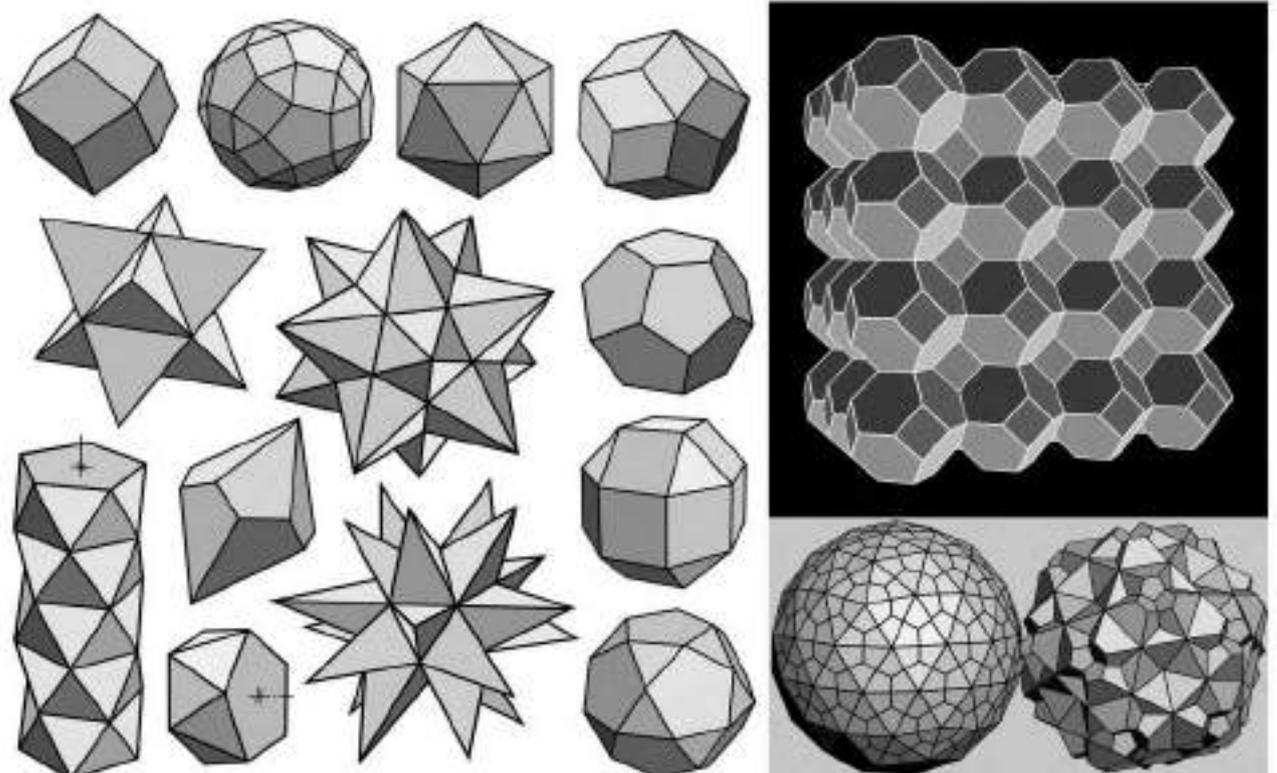
5 составные линейчатые структуры



6 пластинчато-стержневые структуры



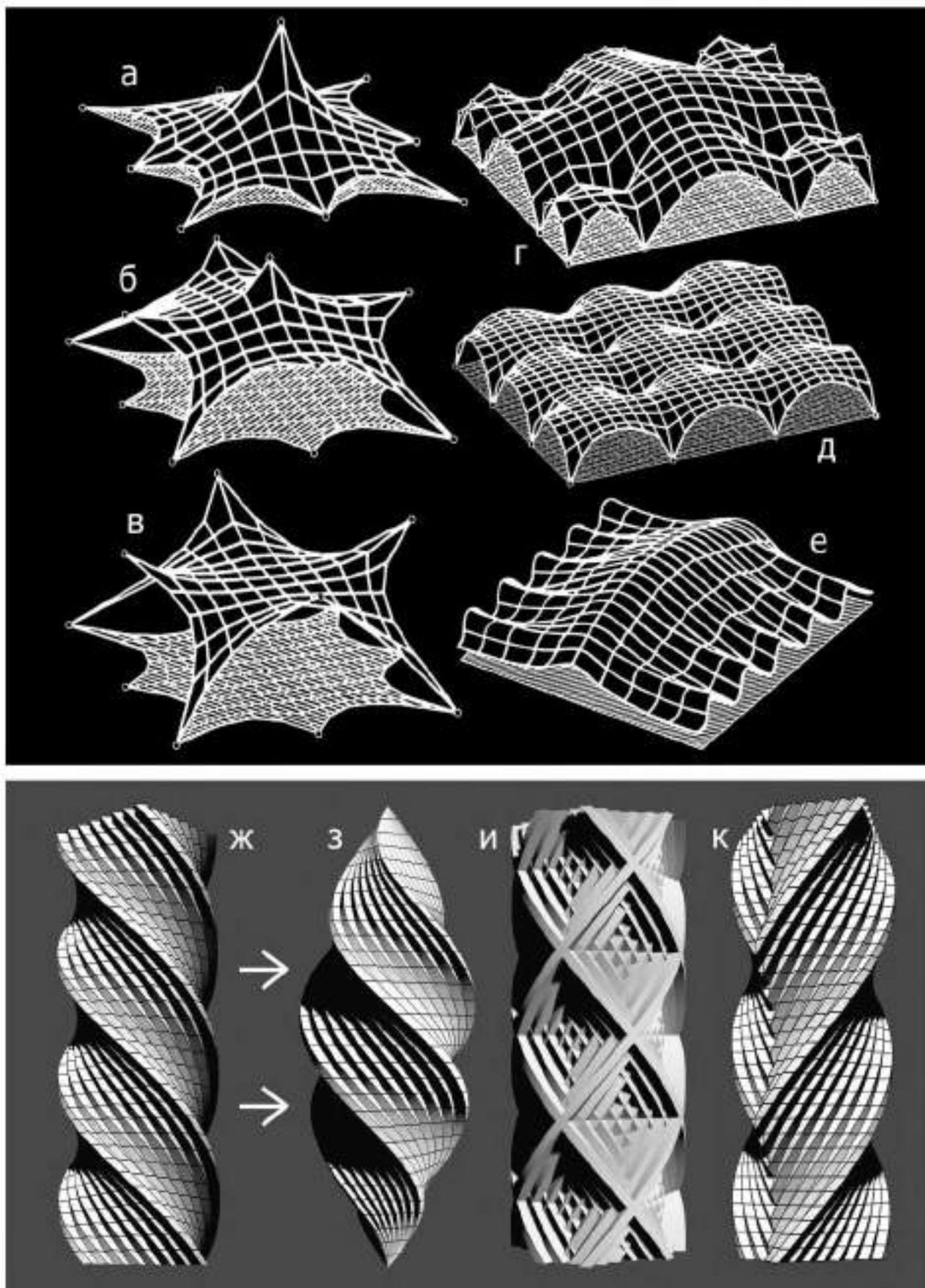
7 замкнутые многогранные структуры



## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

7

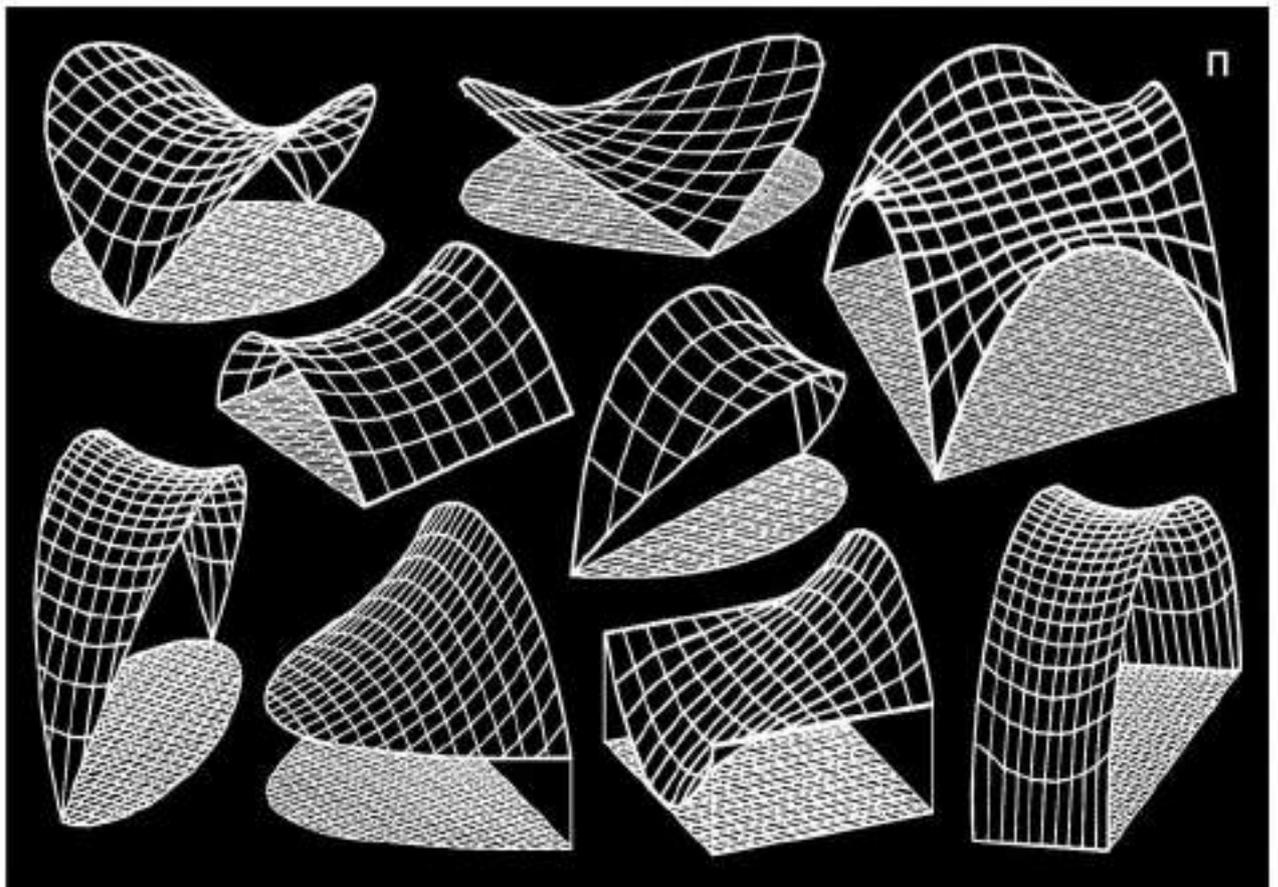
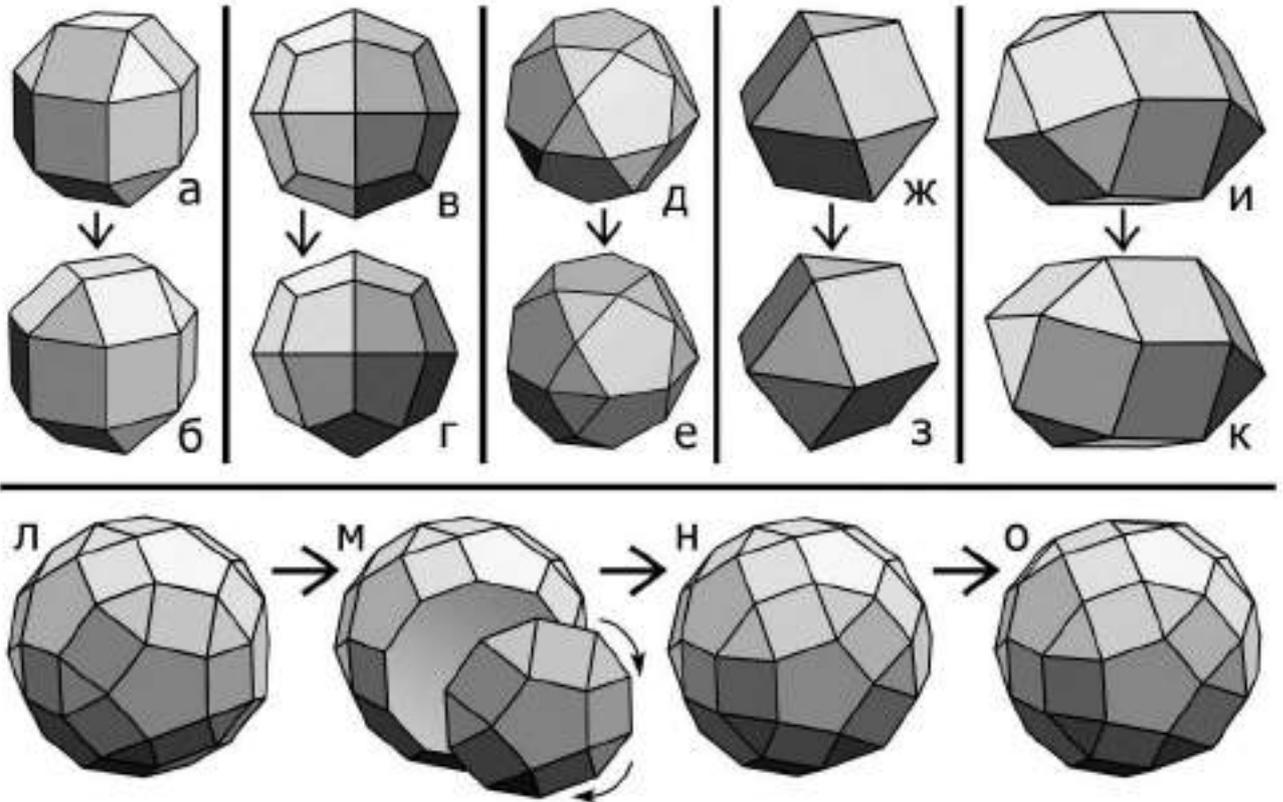
Рисунок 7 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а,б,в,г,д,е- [56],[57]; ж,з,и,к- разработки и рисунки Коротича А.В.



# принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

# 8

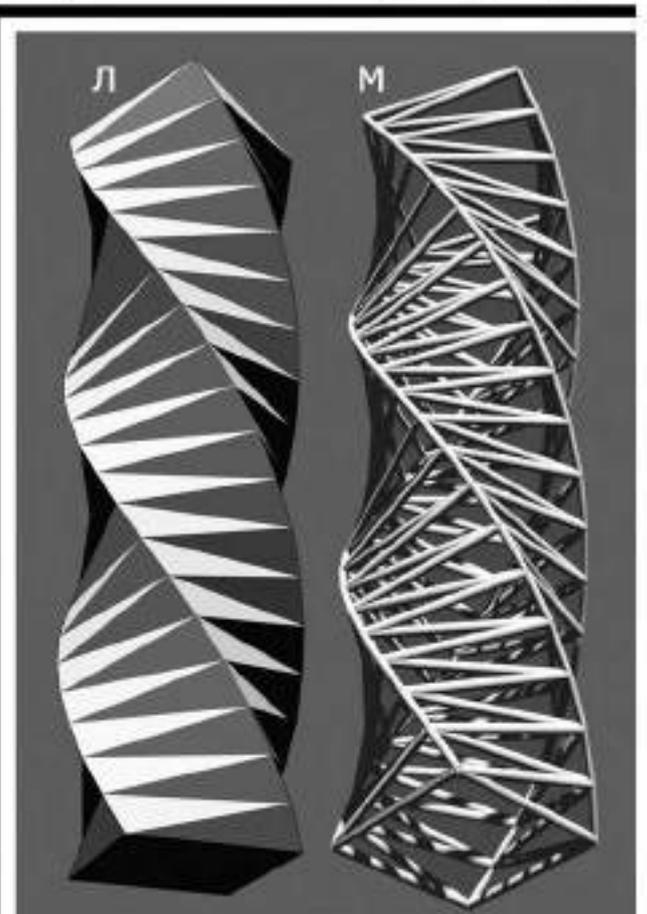
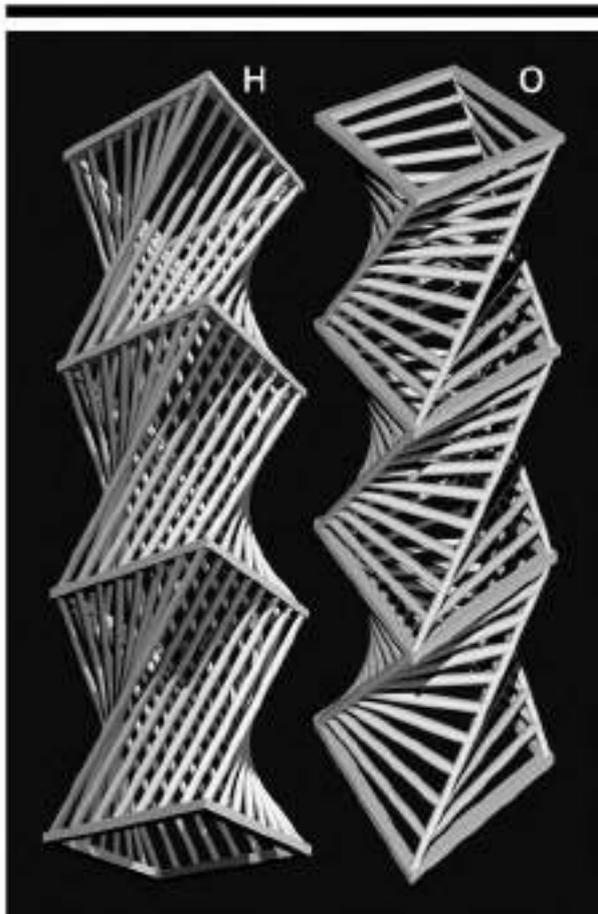
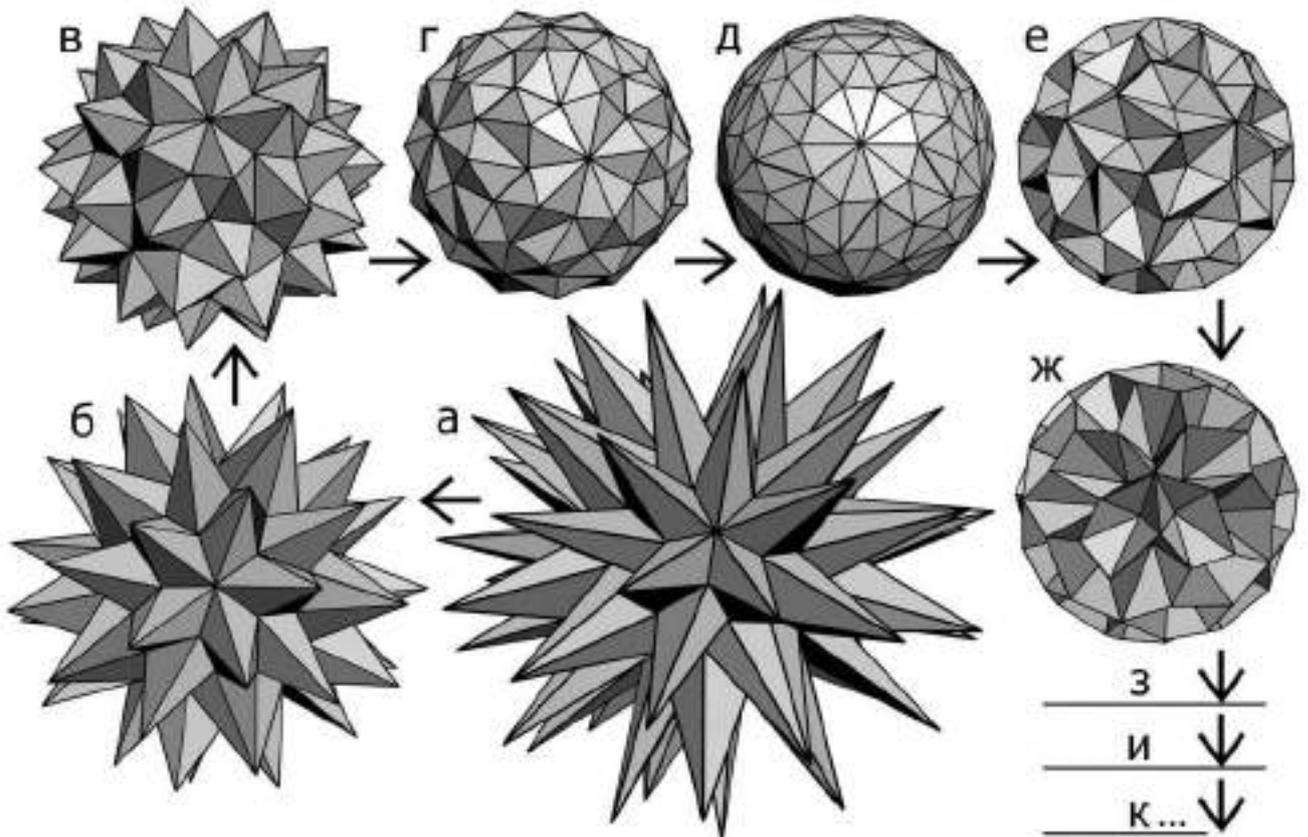
Рисунок 8 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания варибельных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: п- [ 57 ]; а-о: рисунки Коротича А.В.



# принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

9

Рисунок 9 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания варибельных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Разработки и рисунки Коротича А.В.

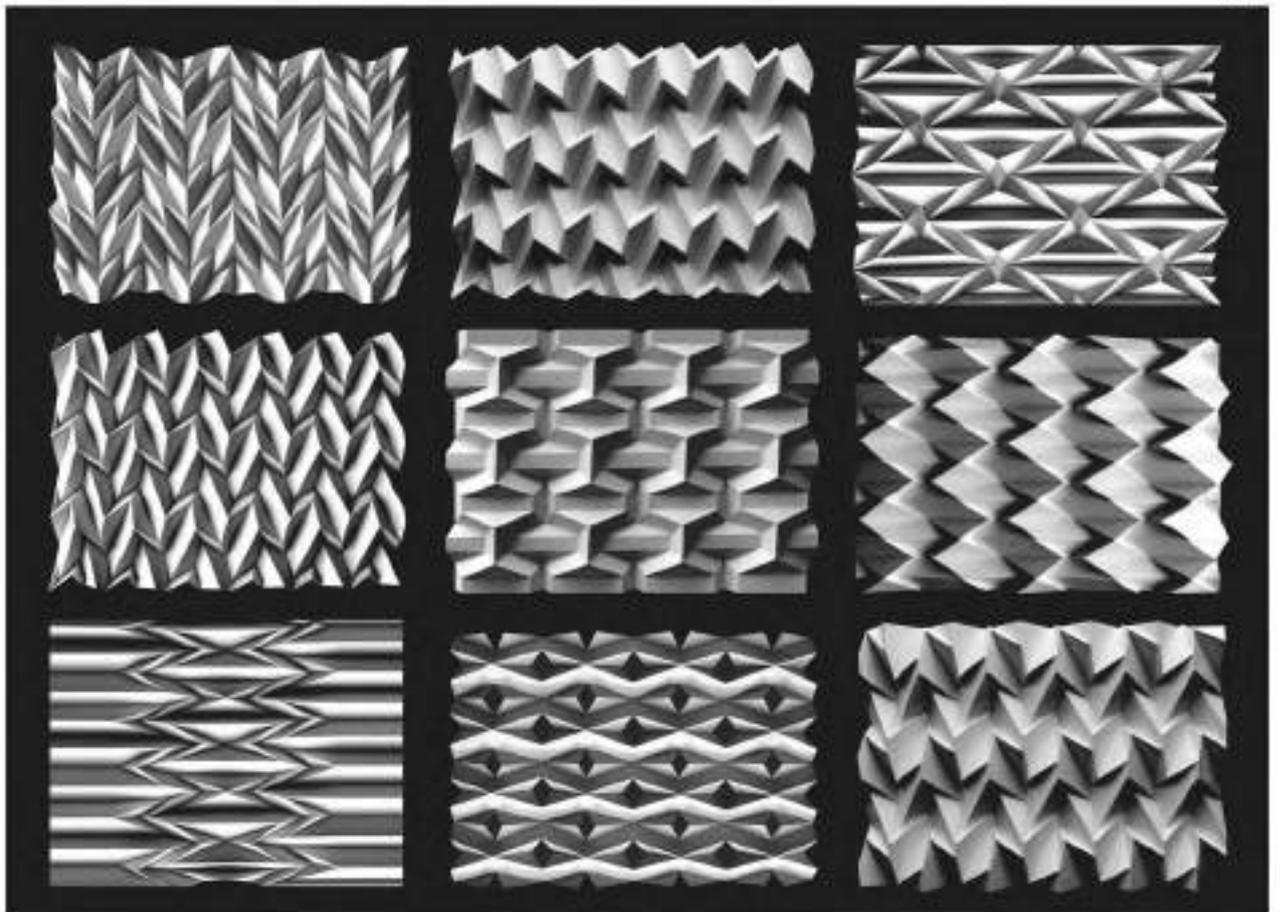


## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

# 10

Рисунок 10 - Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания варибельных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Складчатые структуры, трансформируемые из плоскости. Автор разработок, а также объемных моделей Коротич А.В.

а



## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

# 11

Рисунок 11 - Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания варибельных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Складчатые структуры, трансформируемые из плоскости. Автор разработок, а также объемных моделей Коротич А.В.

а

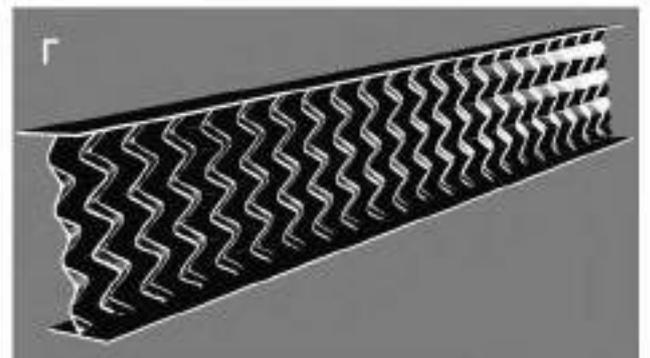
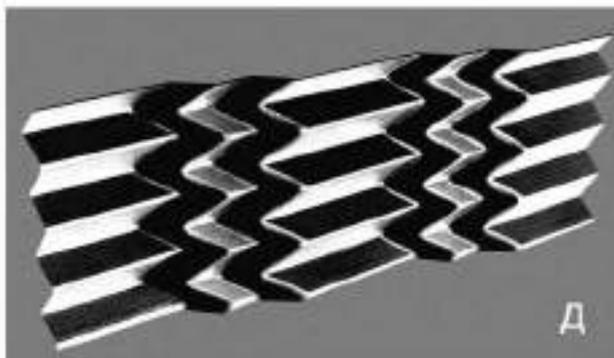
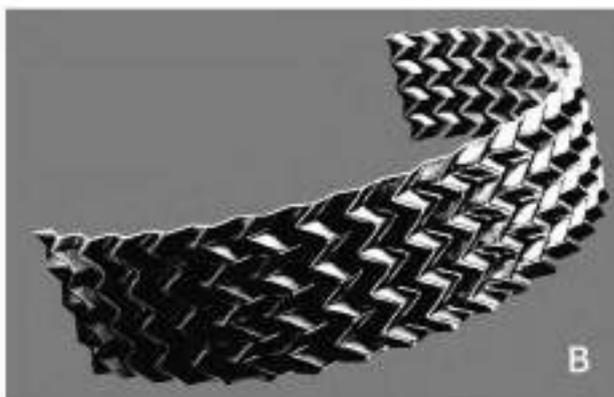
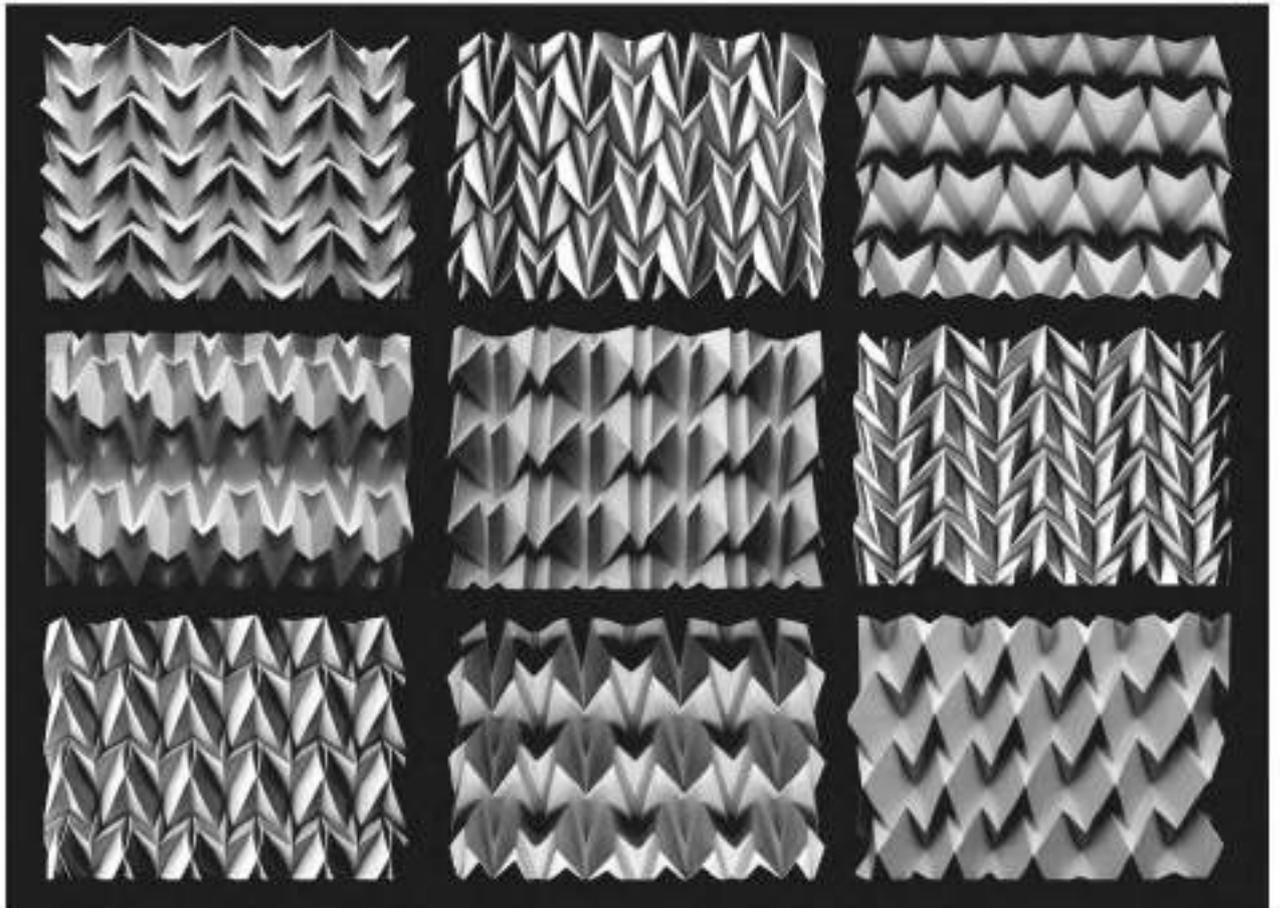


Рисунок 12 - Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Складчатые структуры, трансформируемые из плоскости. Автор разработок, а также объемных моделей Коротич А.В.

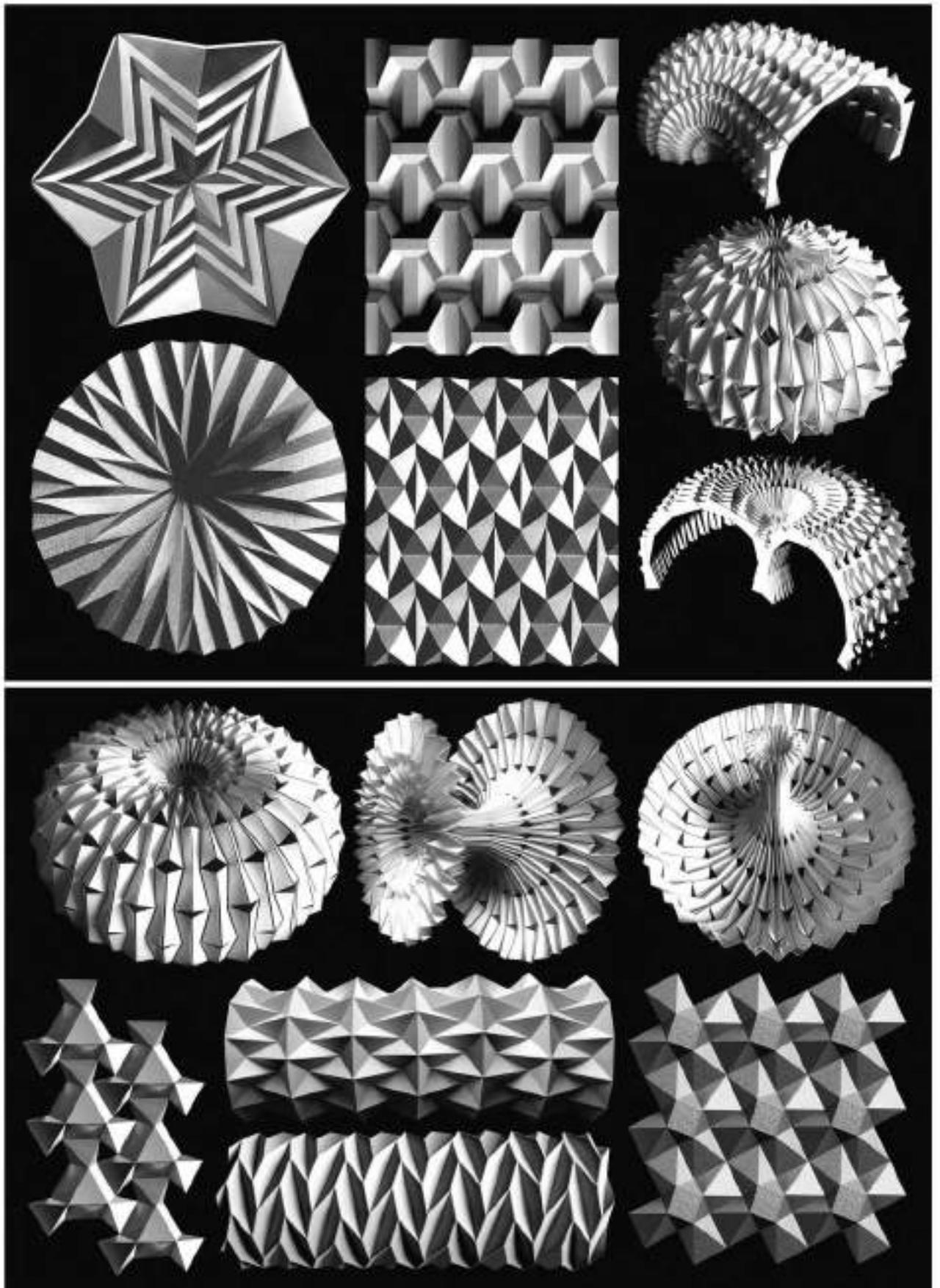
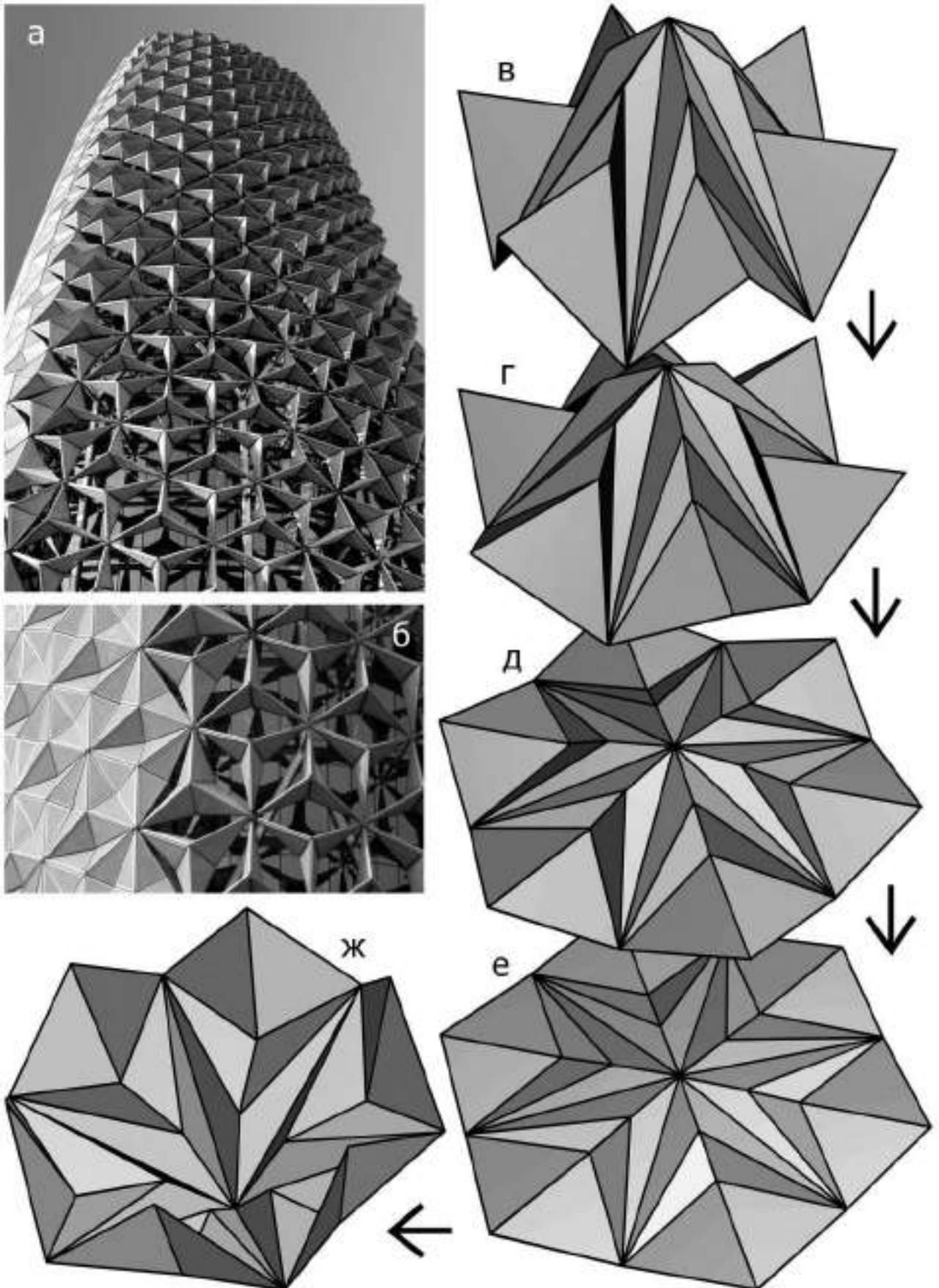


Рисунок 13 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- [258]; б- [259]; в-ж: разработанная складчатая модель и рисунок Коротича А.В.



# принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

Рисунок 14 - Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- [260]; б,в,д- [261]; г- [262]; е- [263]; ж- [264]; з-о: разработки и рисунки Коротича А.В.

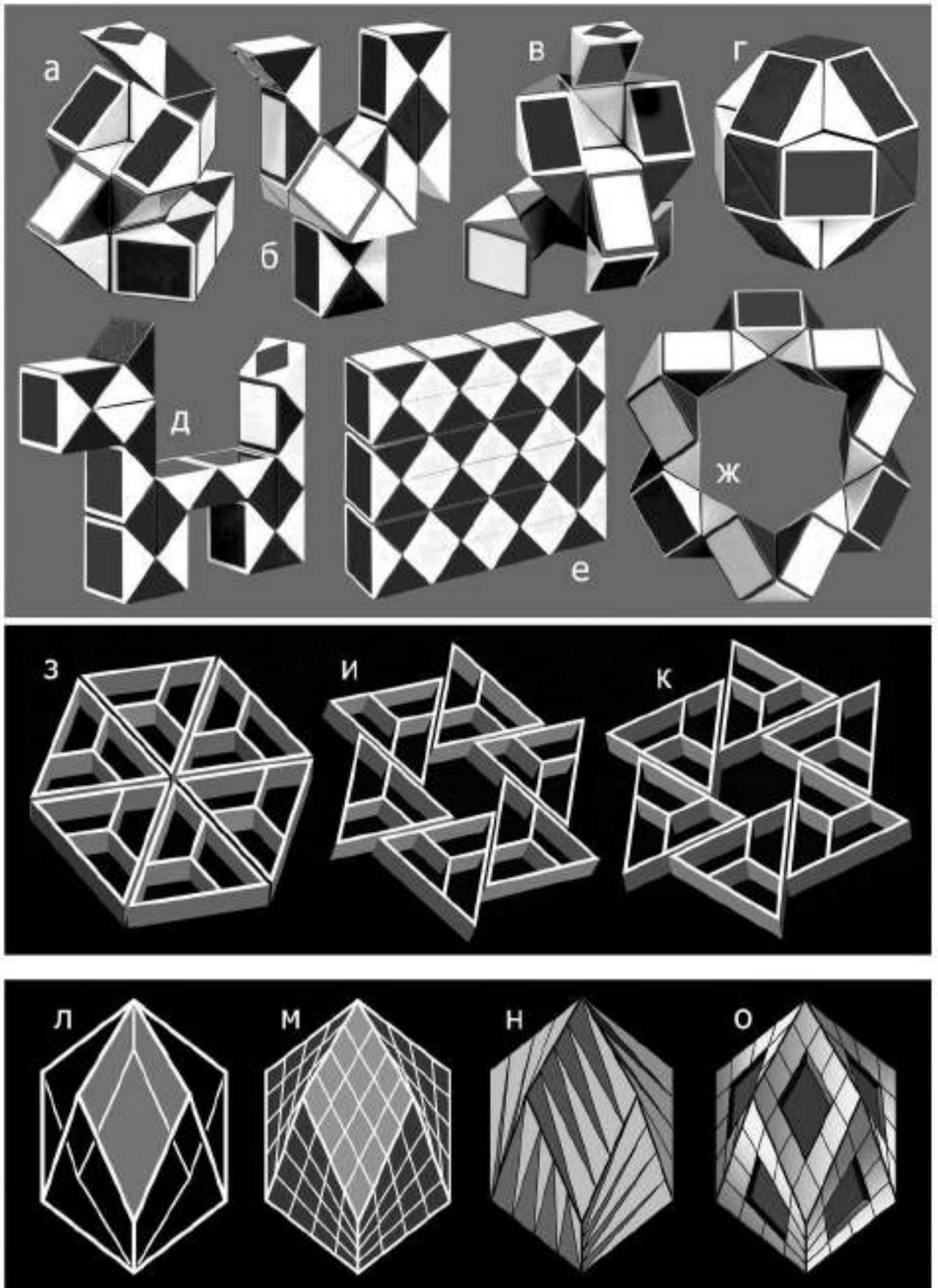
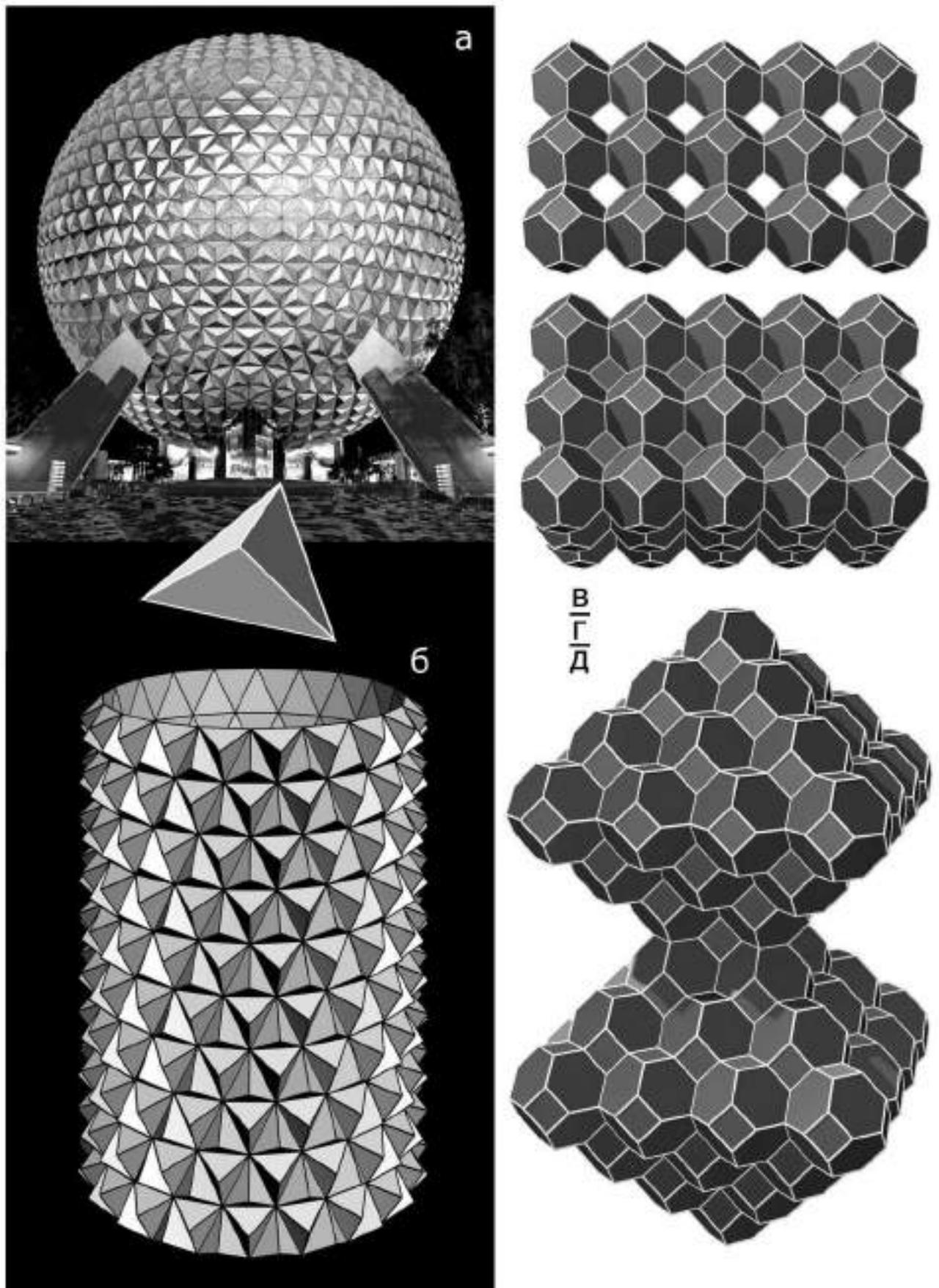


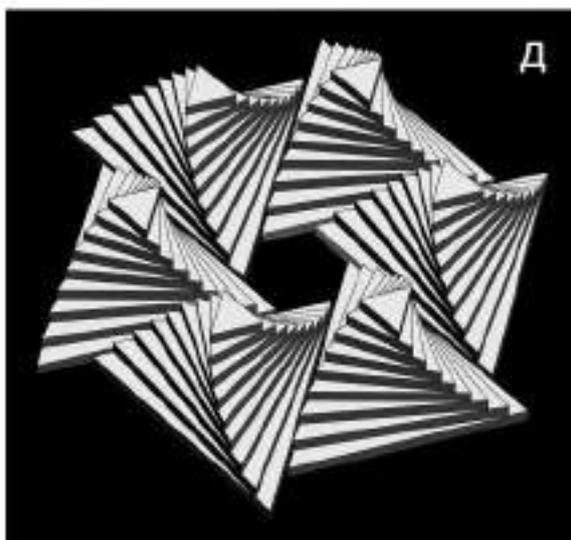
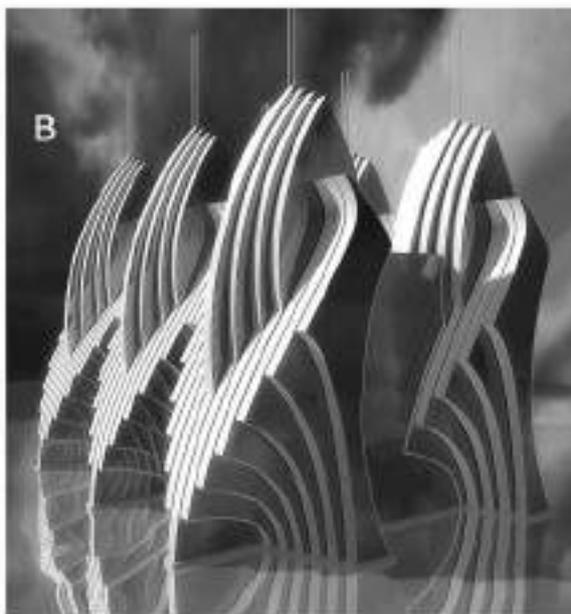
Рисунок 15 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания варибельных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- [265]; б, в, г, д- разработки и рисунки Коротича А.В.



## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

16

Рисунок 16 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: е- [276]; а-д: концепты зданий и сооружений, а также модели, созданные Коротичем А.В.



# принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

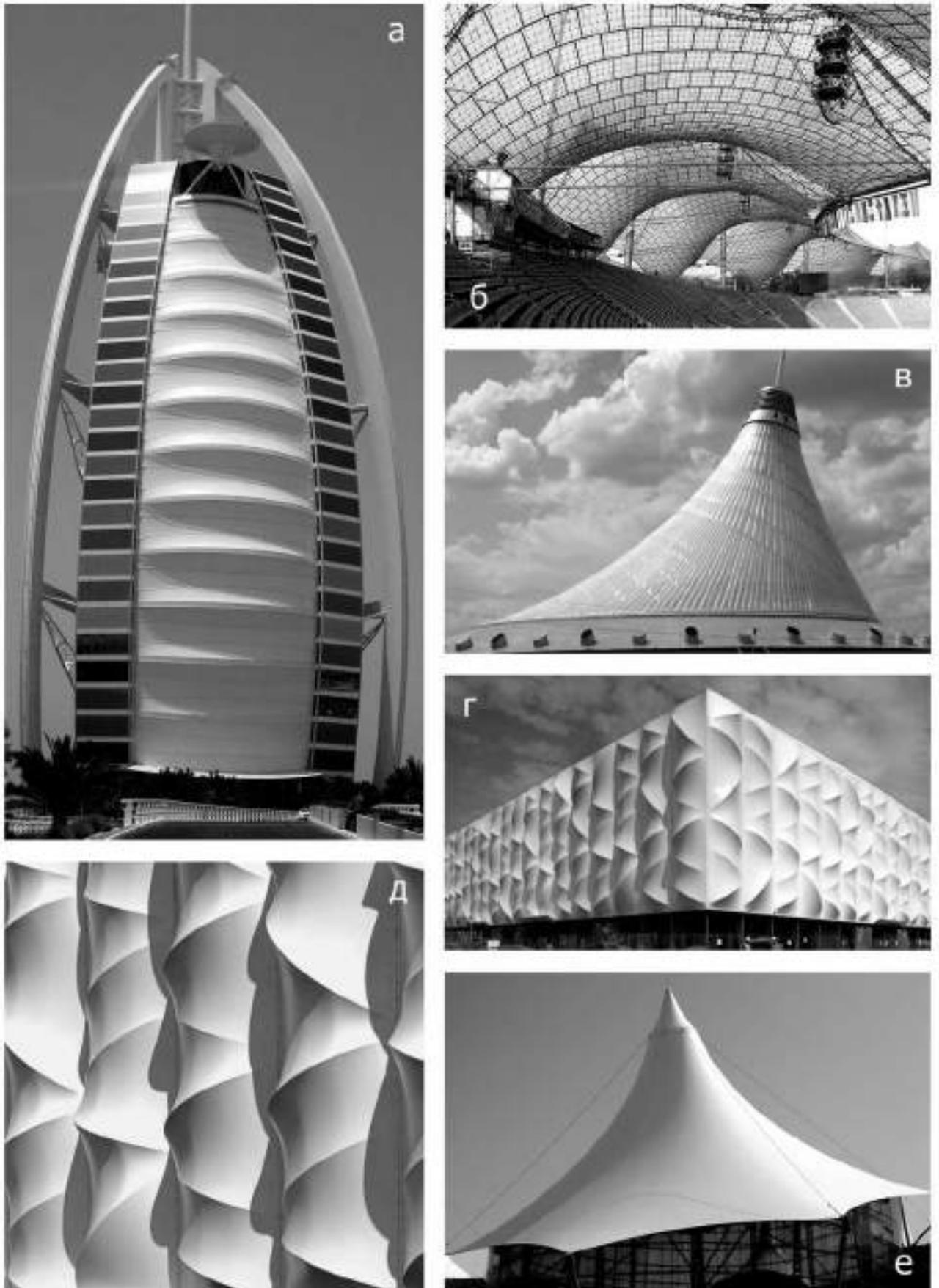
Рисунок 17 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- фото Коротича А.В.; б- [266]; в- [42]; г- [267]; д- [268]; е,ж,з-[34]; и-[269].



## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

18

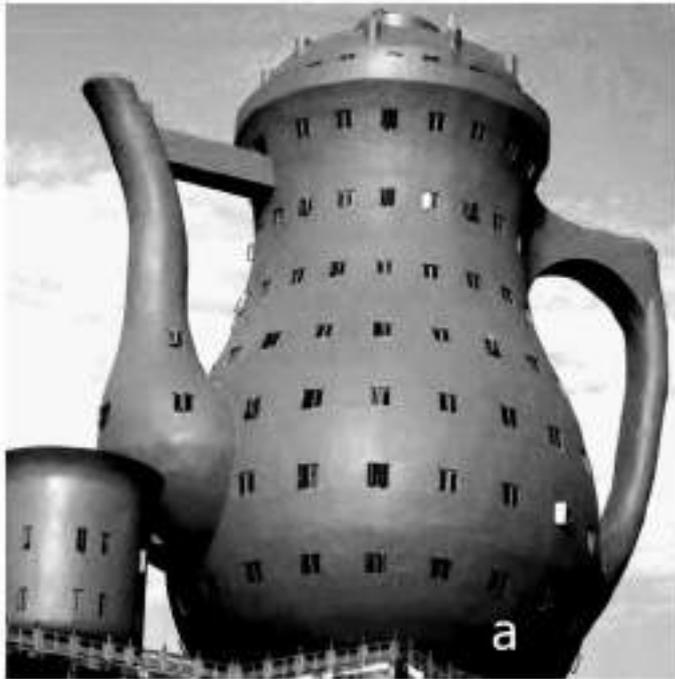
Рисунок 18 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а, в, е- фото Коротича А.В.; б- [272]; г- [270]; д- [271].



## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

19

Рисунок 19 - Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- [273]; б- [274]; в- [278]; г- [276]; д,е- фото Коротича А.В.



## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

20

Рисунок 20 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- [278]; б- [279]; в- [280]; г- [276]; е- [279]; ж- [281]; д- фото Коротина А.В.



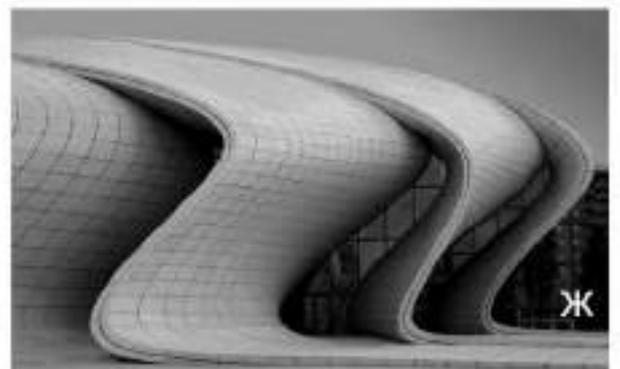
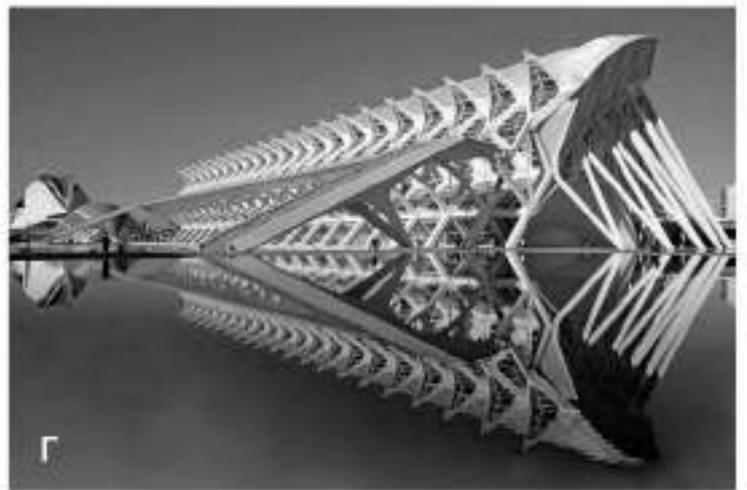
## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

# 21

Рисунок 21 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания варибельных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- фото Коротича А.В.; б- [282]; в- [285]; г- [283]; д- [286]; е- [284]; ж- [286].



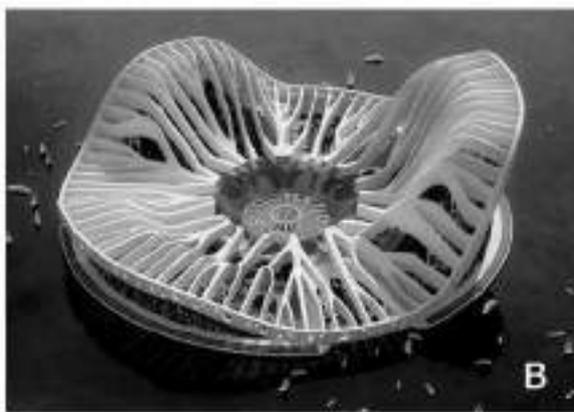
Рисунок 22 - Основные морфологические направления формобразования в современном дизайне как методологическая платформа создания варибельных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- [287]; б- [294]; в- [295]; г- [292]; д- [296]; е, ж- фото Коротича А.В.



## принципиальные морфологические направления формотворчества в дизайне

23

Рисунок 23 – Основные морфологические направления формообразования в современном дизайне как методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- [298]; б- [291]; в- [288]; г- [289]; д- [290]; е- [292]; ж- [297]; з- [109].



регулярные дискретные структуры в контексте  
регионального/национального формотворчества

Рисунок 24 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Фото Коротича А.В.

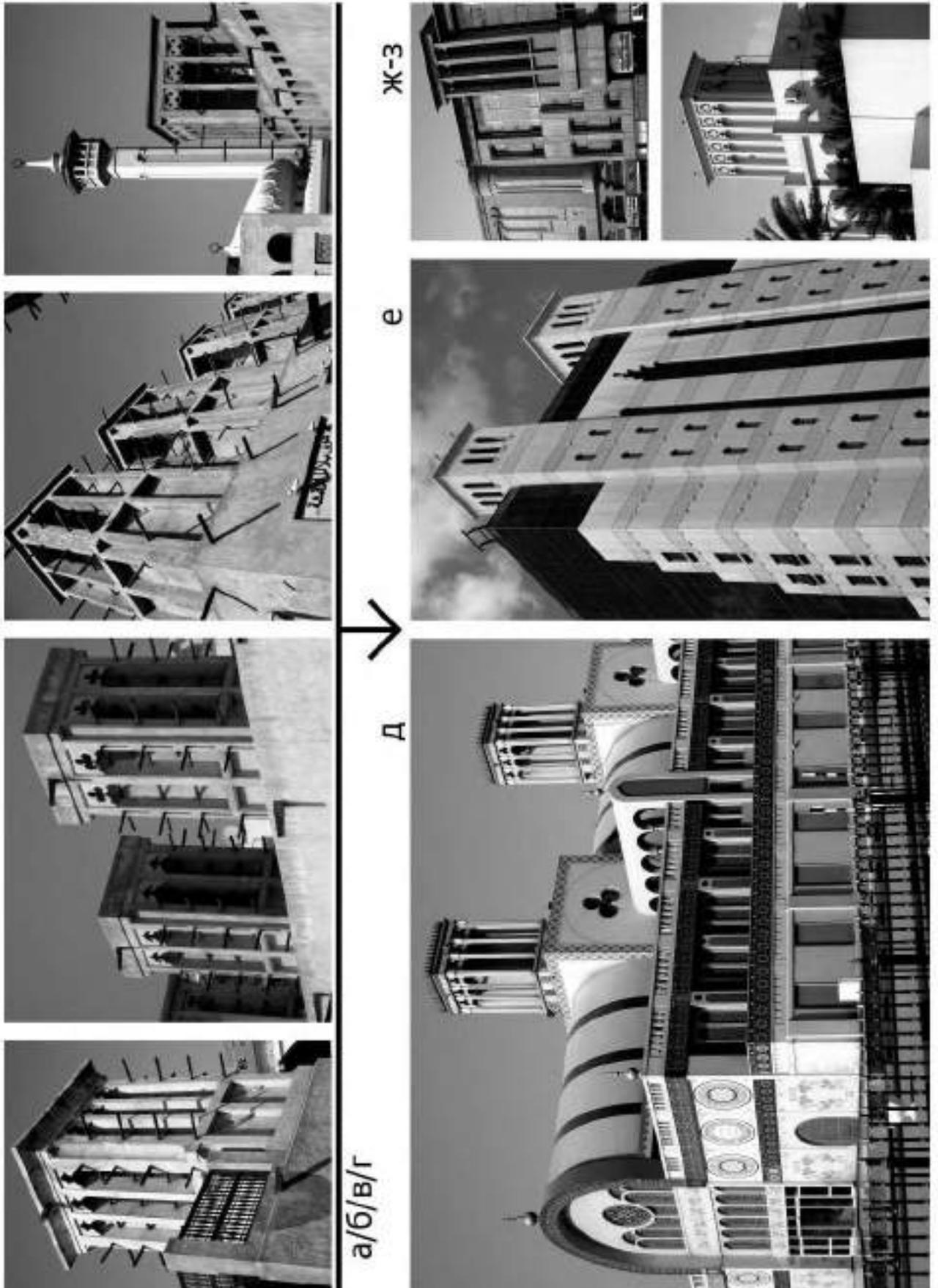
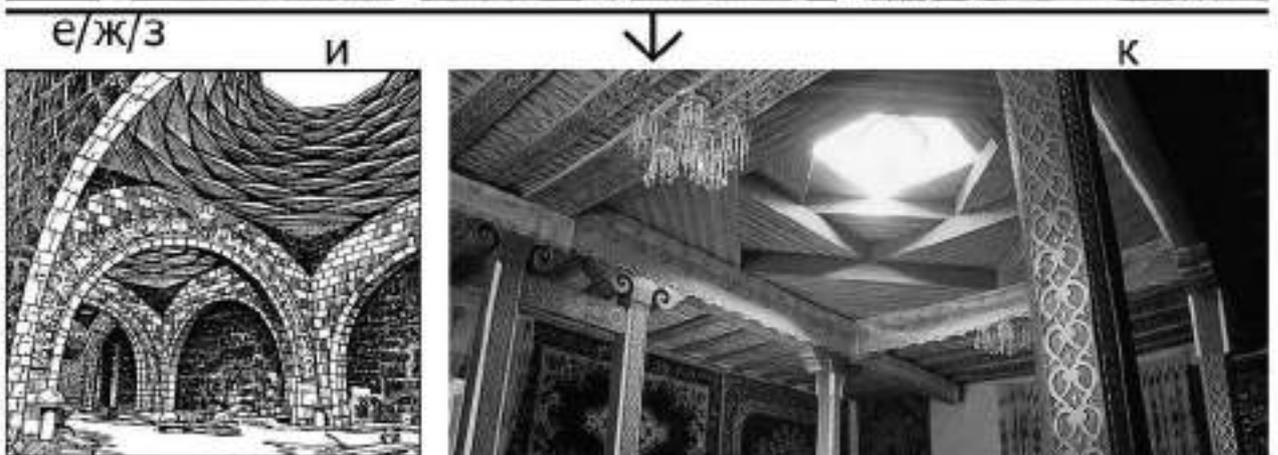
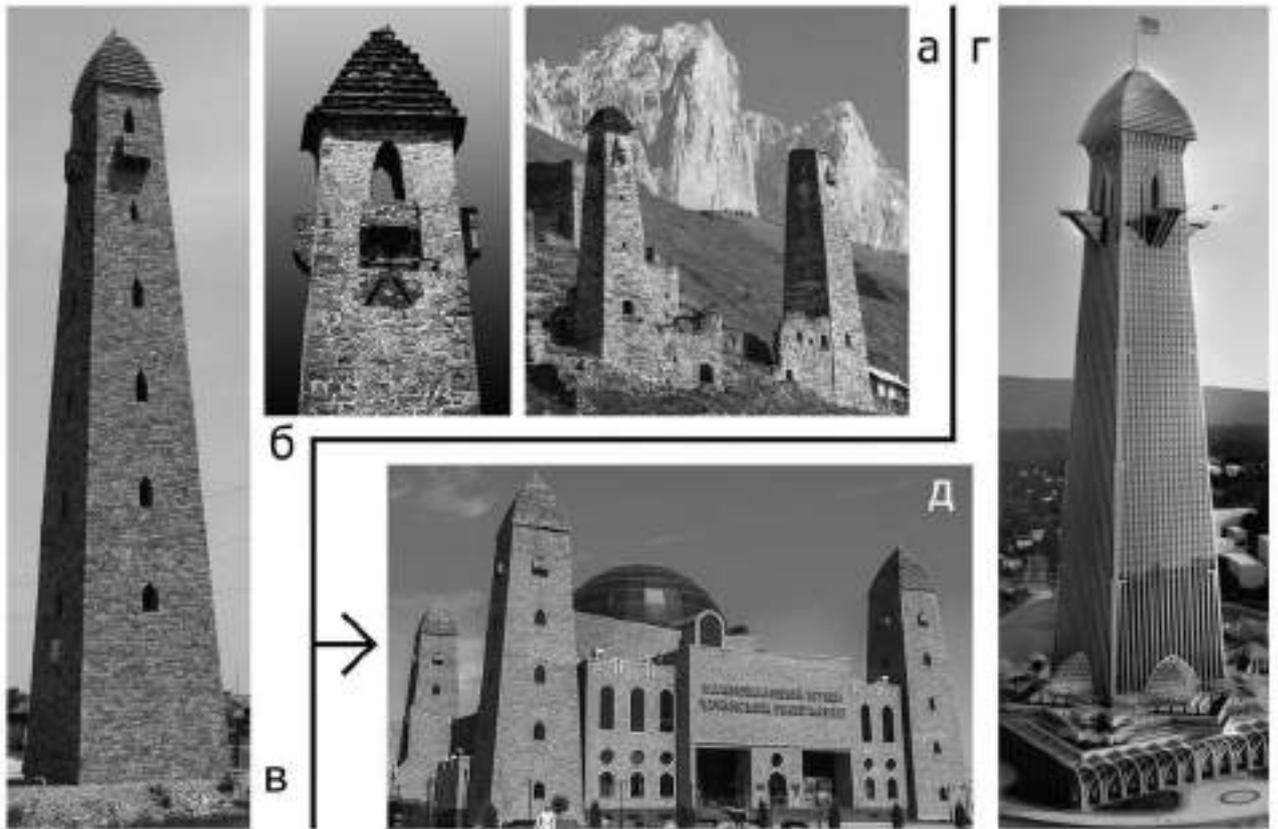


Рисунок 25 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Фото Коротина А.В.



регулярные дискретные структуры в контексте  
регионального/национального формотворчества

Рисунок 26 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах; творческое переосмысление или прямое заимствование. Источники информации: а- [305]; б- [306]; в- [307]; г- [308]; д- [309]; е- [310]; ж- [311]; з- [312]; и- [85]; к- [313].



е/ж/з

и

к

регулярные дискретные структуры в контексте  
регионального/национального формотворчества

27

Рисунок 27 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Источники информации: а,б,з,и,л- [ 42 ]; к- [315]; м- [314]; в,г,д,е,ж- фото Коротича А.В.

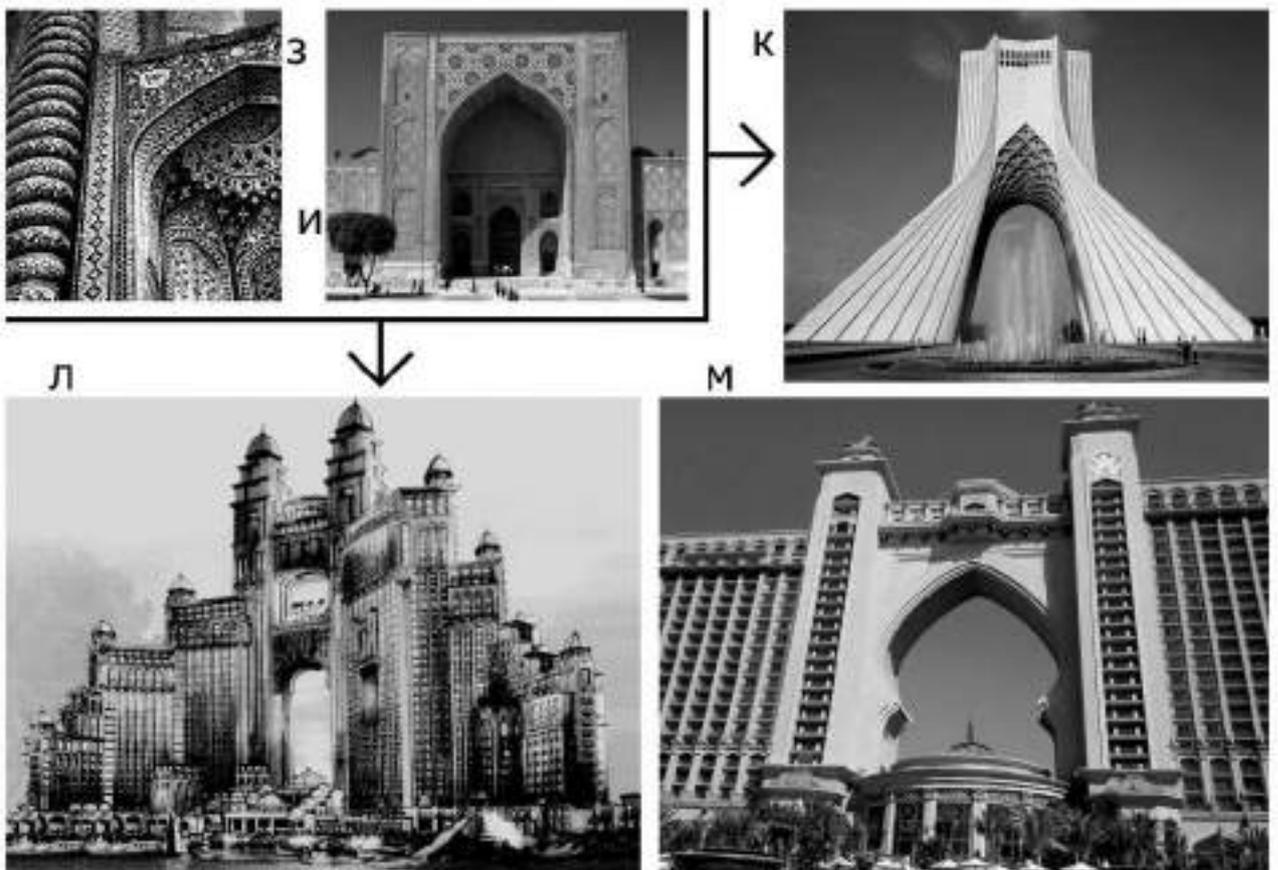
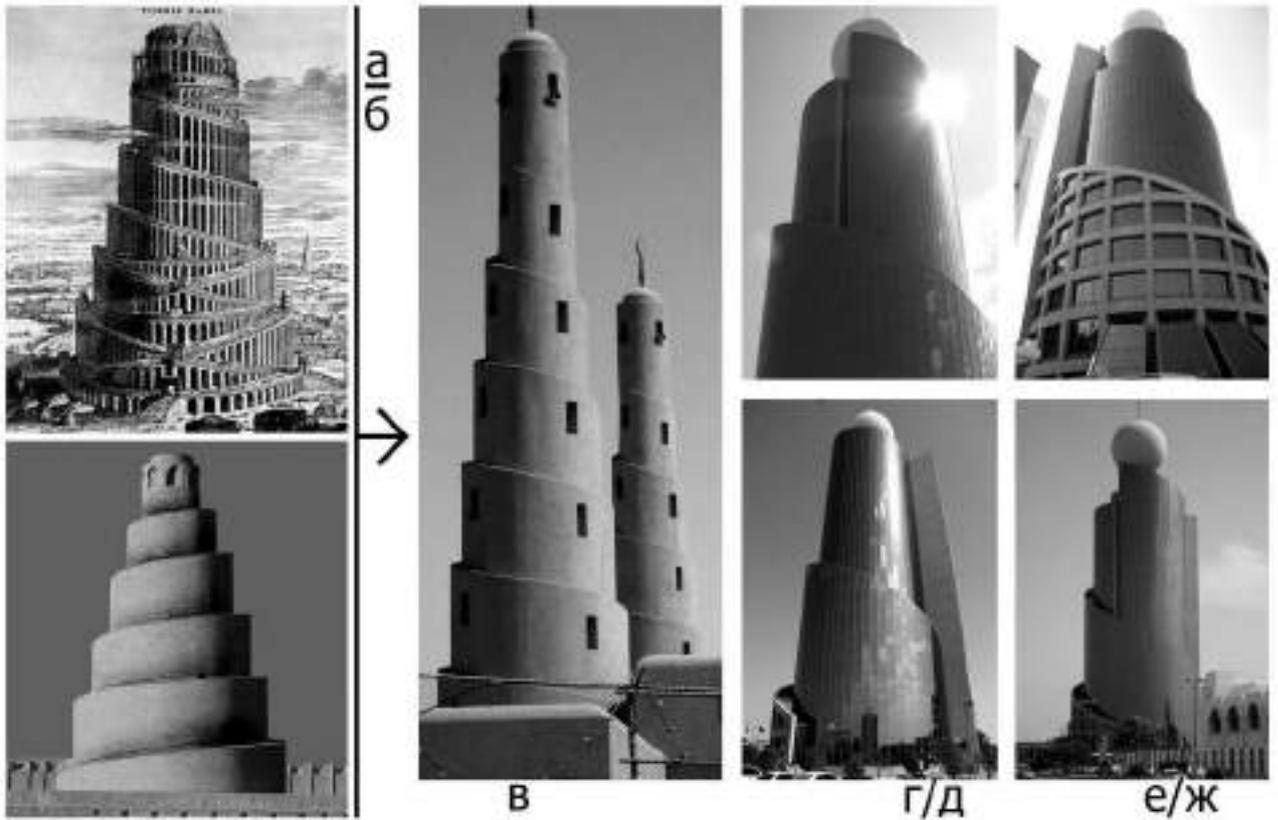


Рисунок 28 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Источники информации: а- [316]; б- [317]; в, ж, з, и- [42]; в, г, д- фото Коротича А.В.

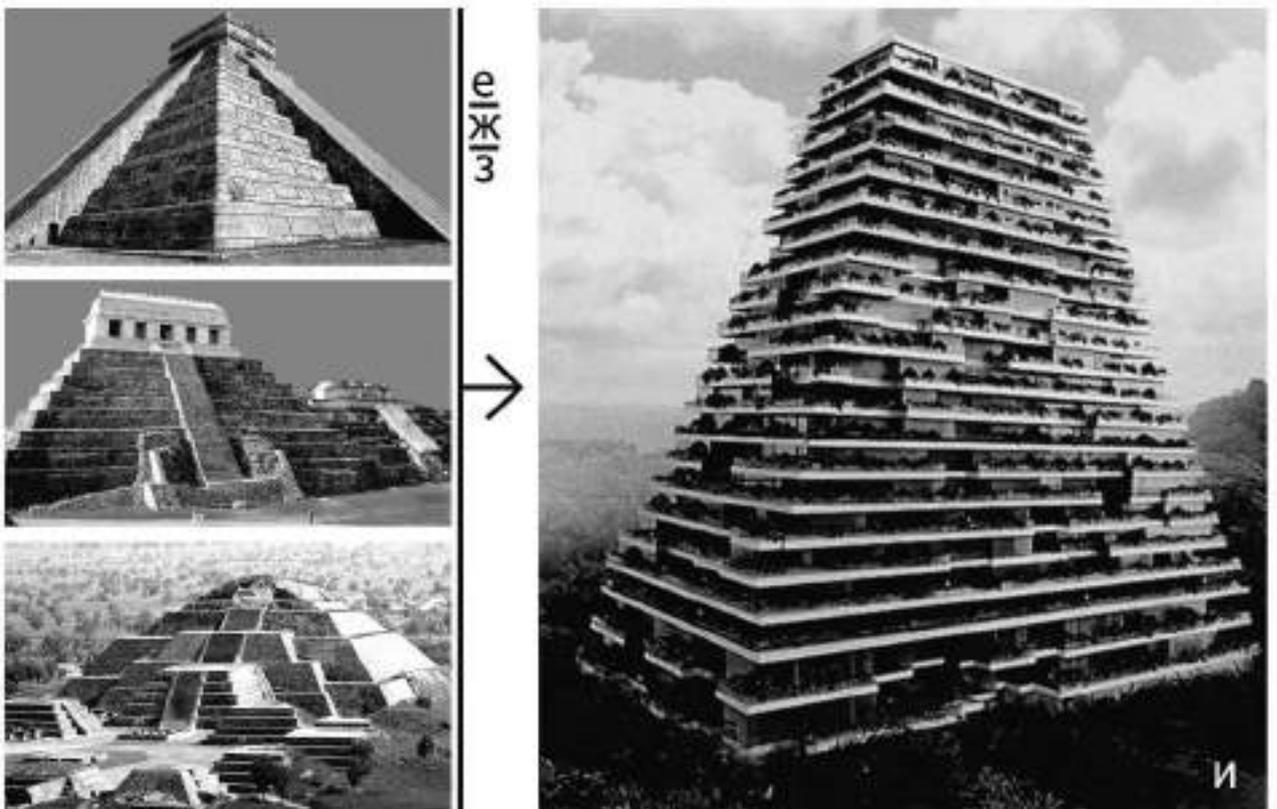
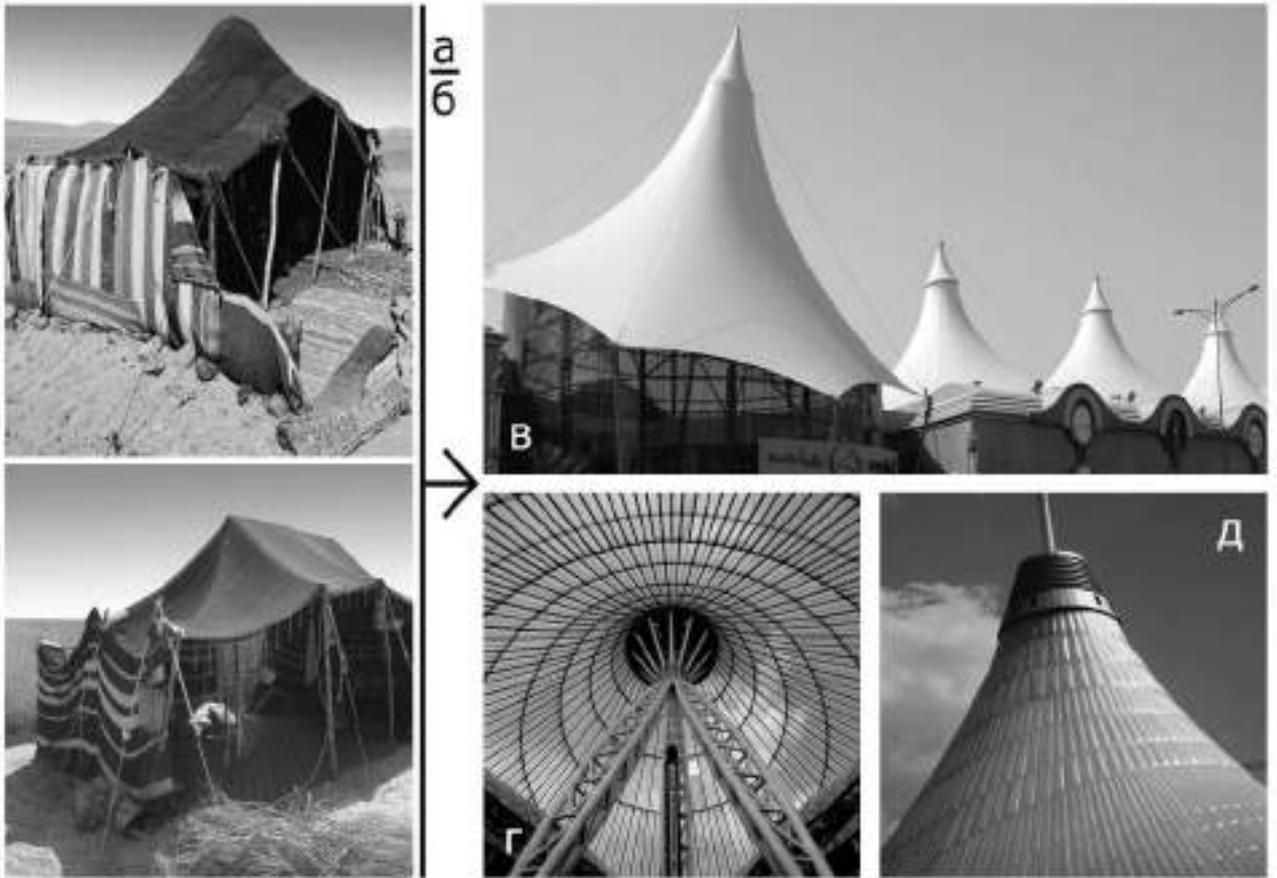


Рисунок 29 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Источник информации - [42].

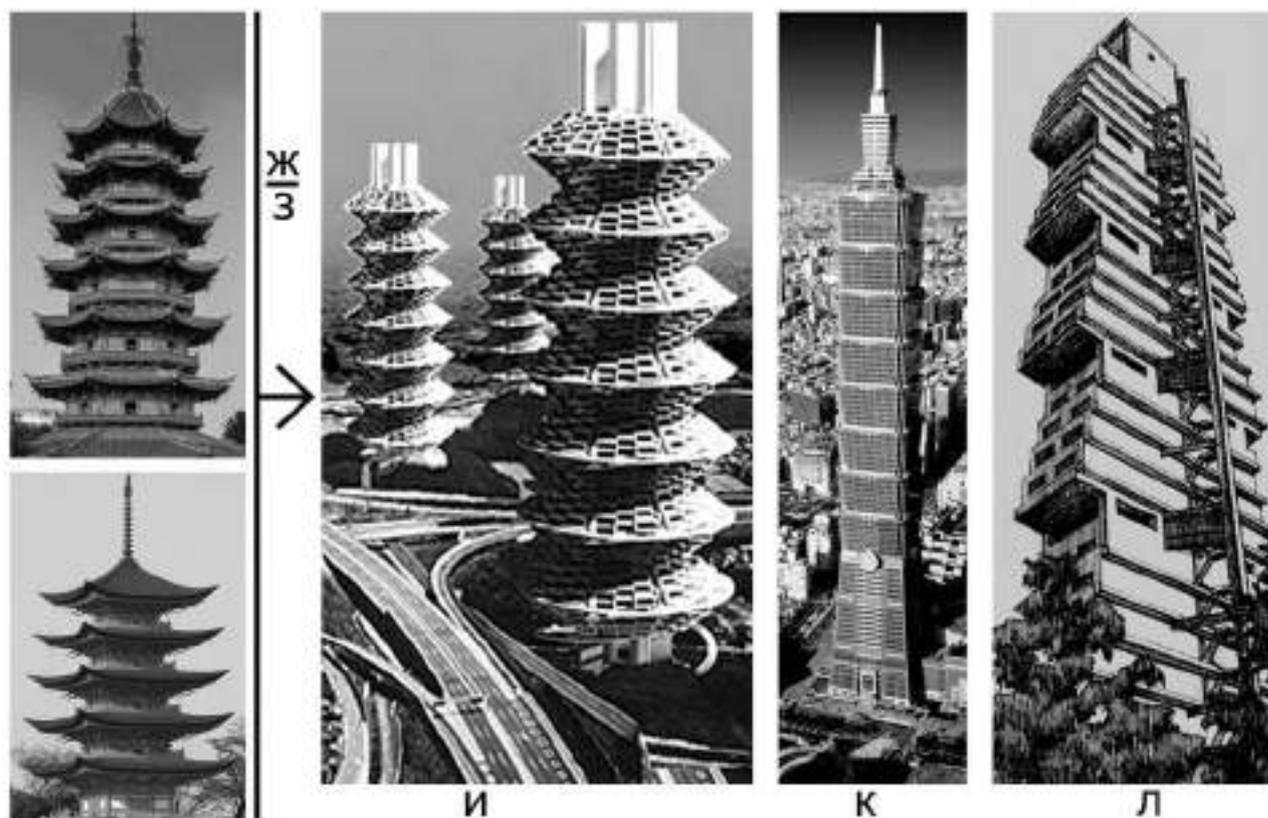
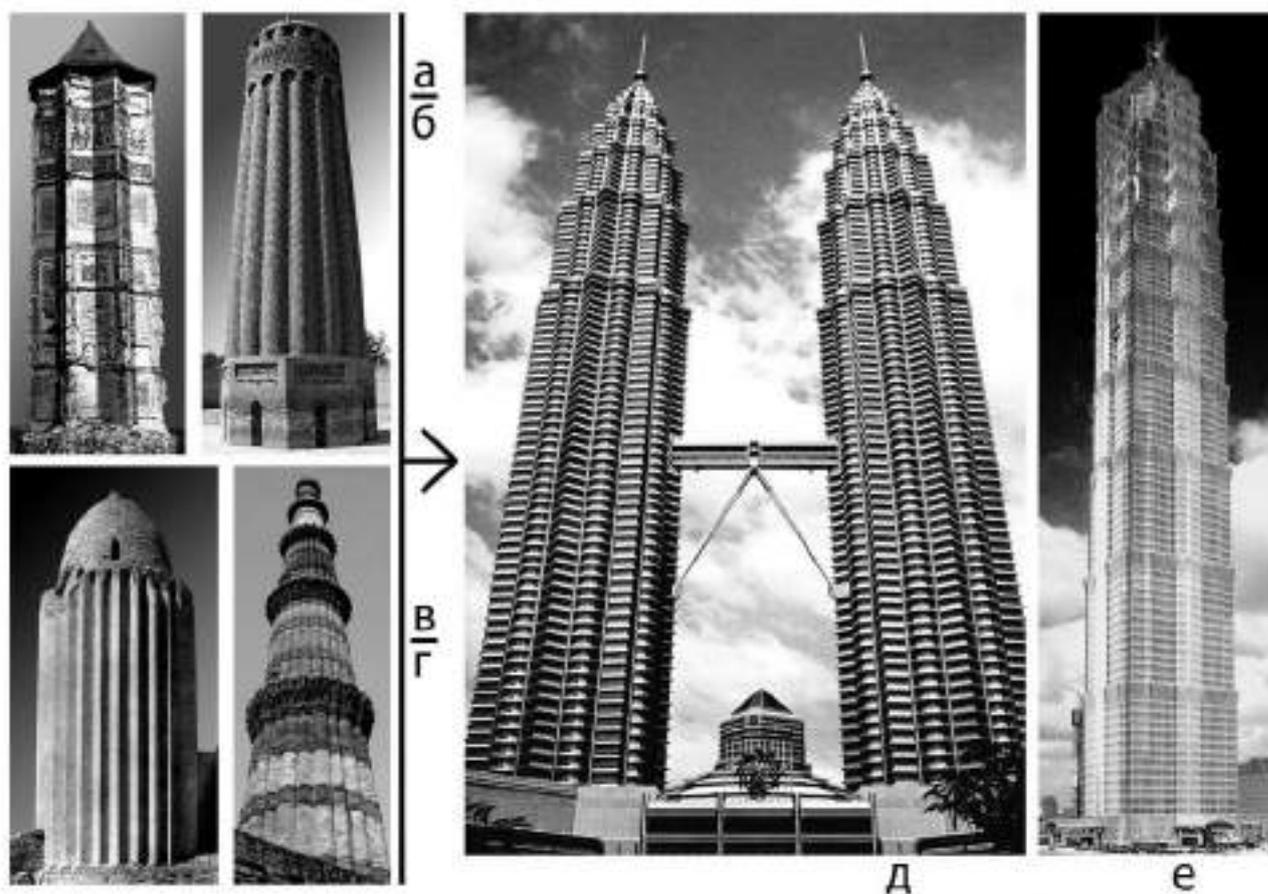
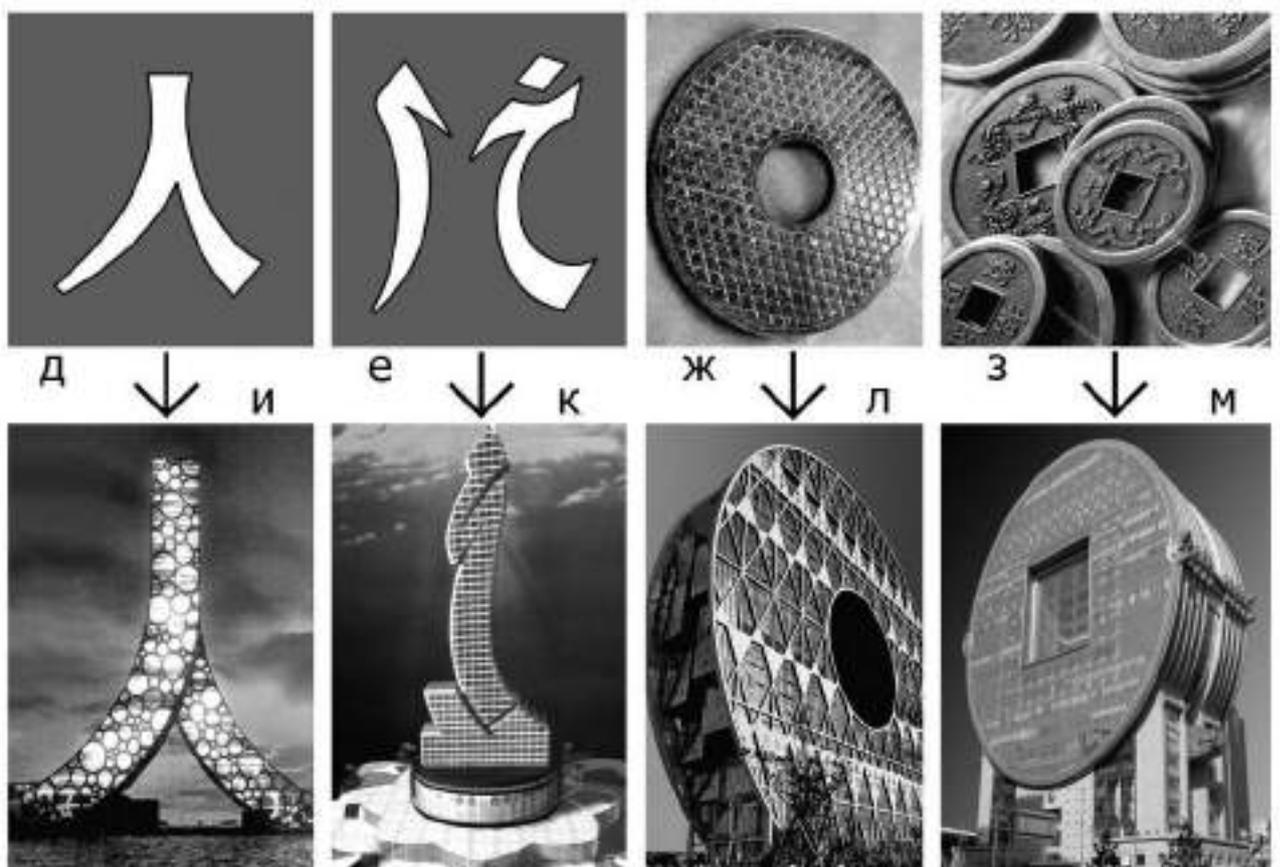
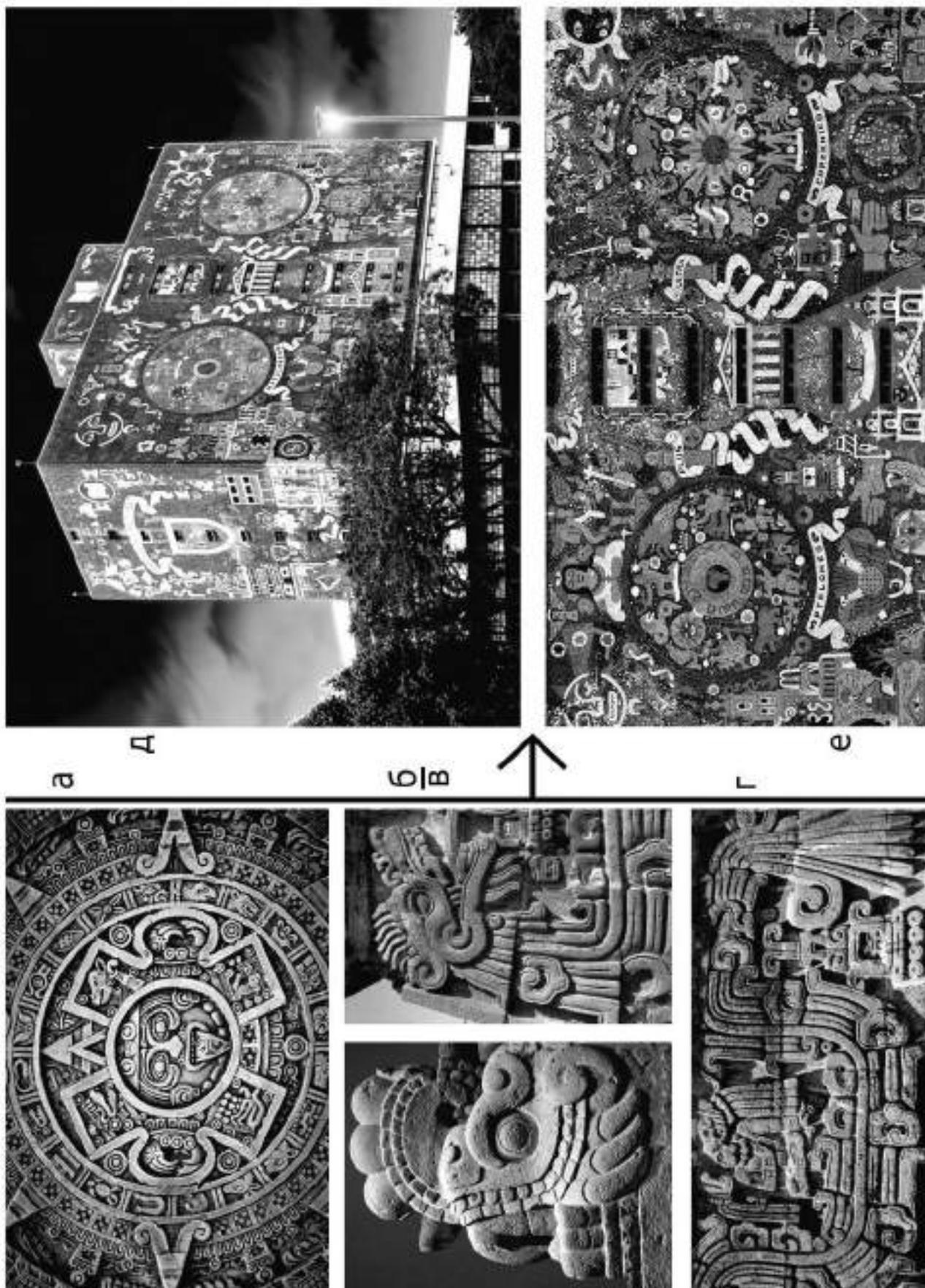


Рисунок 30 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах; творческое переосмысление или прямое заимствование. Источники информации: а- [318]; ж- [319]; з- [320]; и,к,л,м- [ 42 ]; б,в,г,д,е- фото и рисунки Коротича А.В.



регулярные дискретные структуры в контексте  
регионального/национального формотворчества

Рисунок 31 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах; творческое переосмысление или прямое заимствование. Источники информации: а- [321]; б- [322]; в- [323]; г- [324]; д- [325]; е- [326].



регулярные дискретные структуры в контексте  
регионального/национального формотворчества

Рисунок 32 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Дух национальных культур в современной архитектуре Южной Кореи (а) и Объединенных Арабских Эмиратов (б). Фото Коротича А.В.

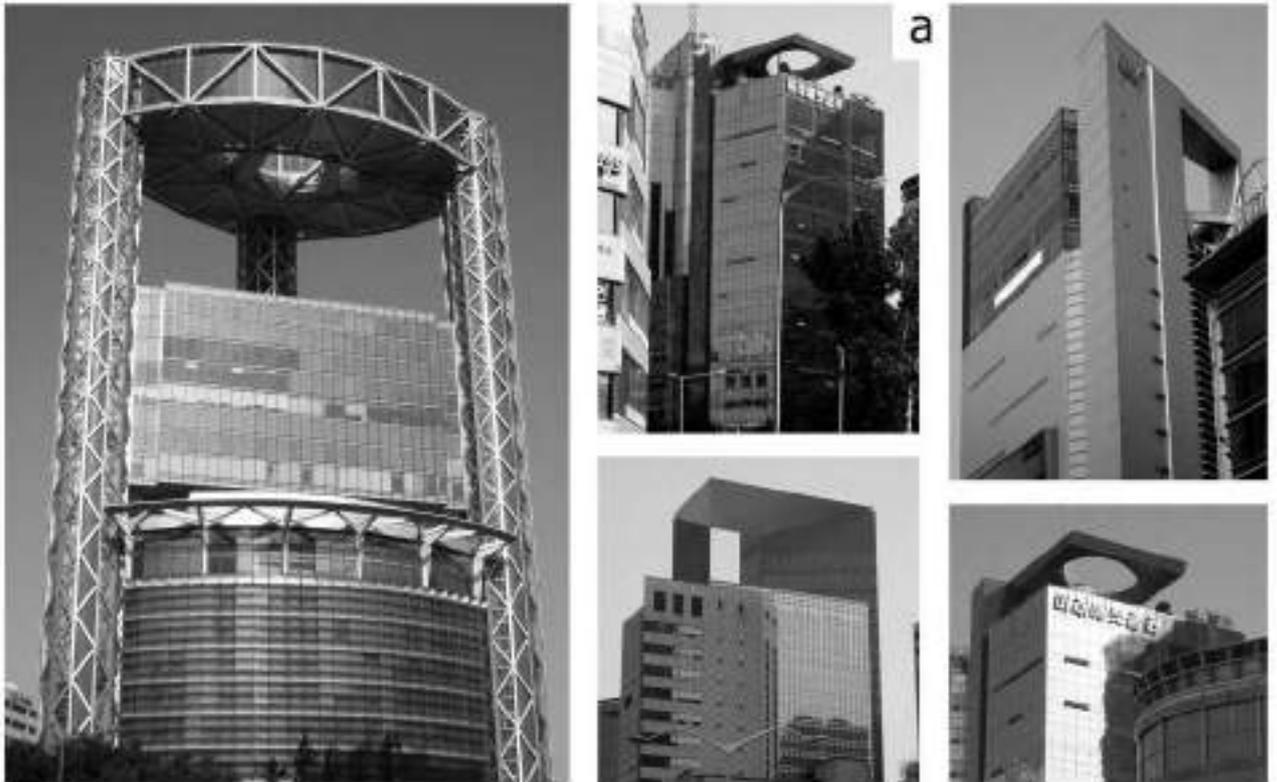


Рисунок 33 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Дух национальной культуры в современной архитектуре Объединенных Арабских Эмиратов. Фото Коротича А.В.

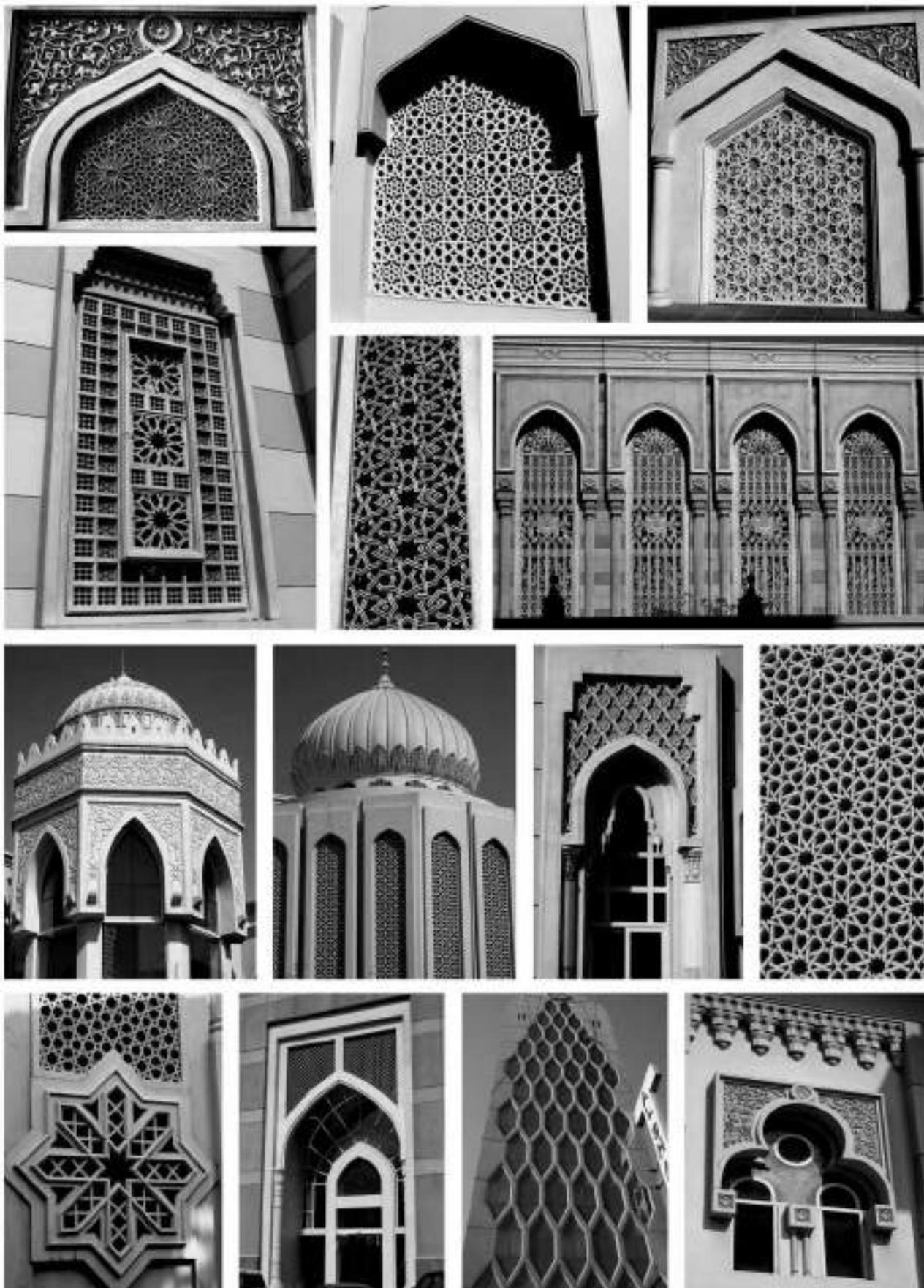


Рисунок 34 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Дух национальной культуры в современной архитектуре Объединенных Арабских Эмиратов. Фото Коротича А.В.



Рисунок 35 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Дух национальной культуры в современной архитектуре Азербайджана, Баку. Фото Коротича А.В.

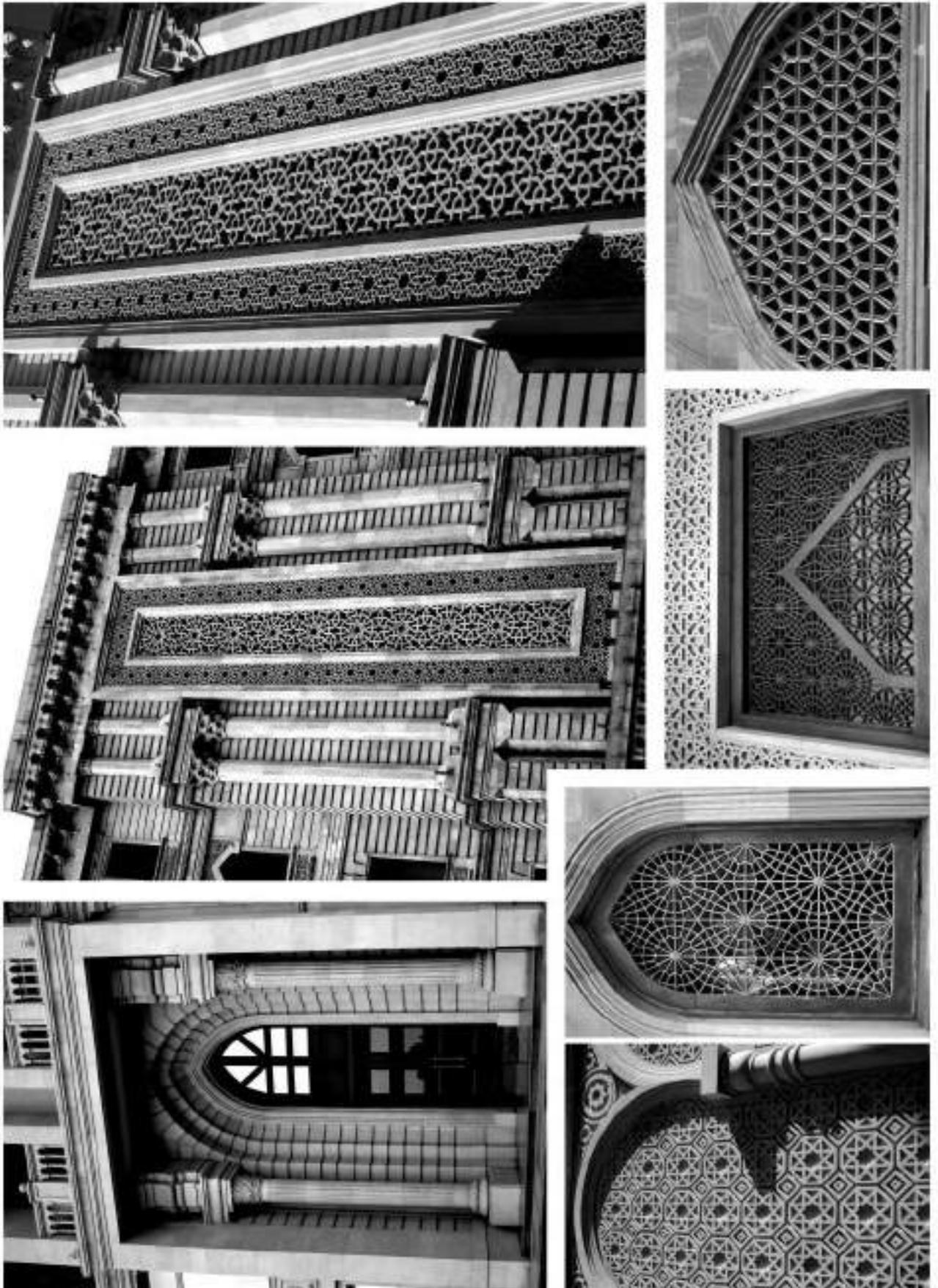
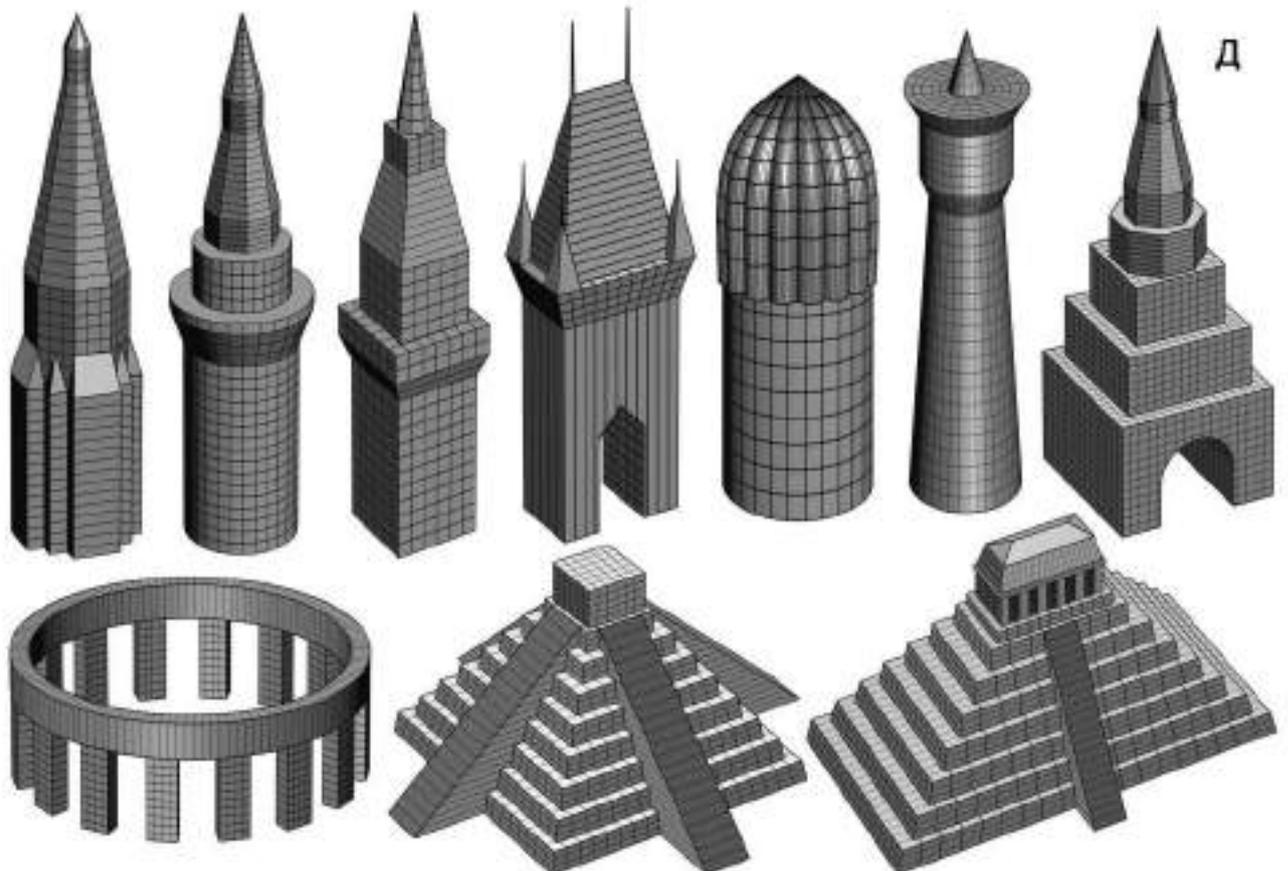
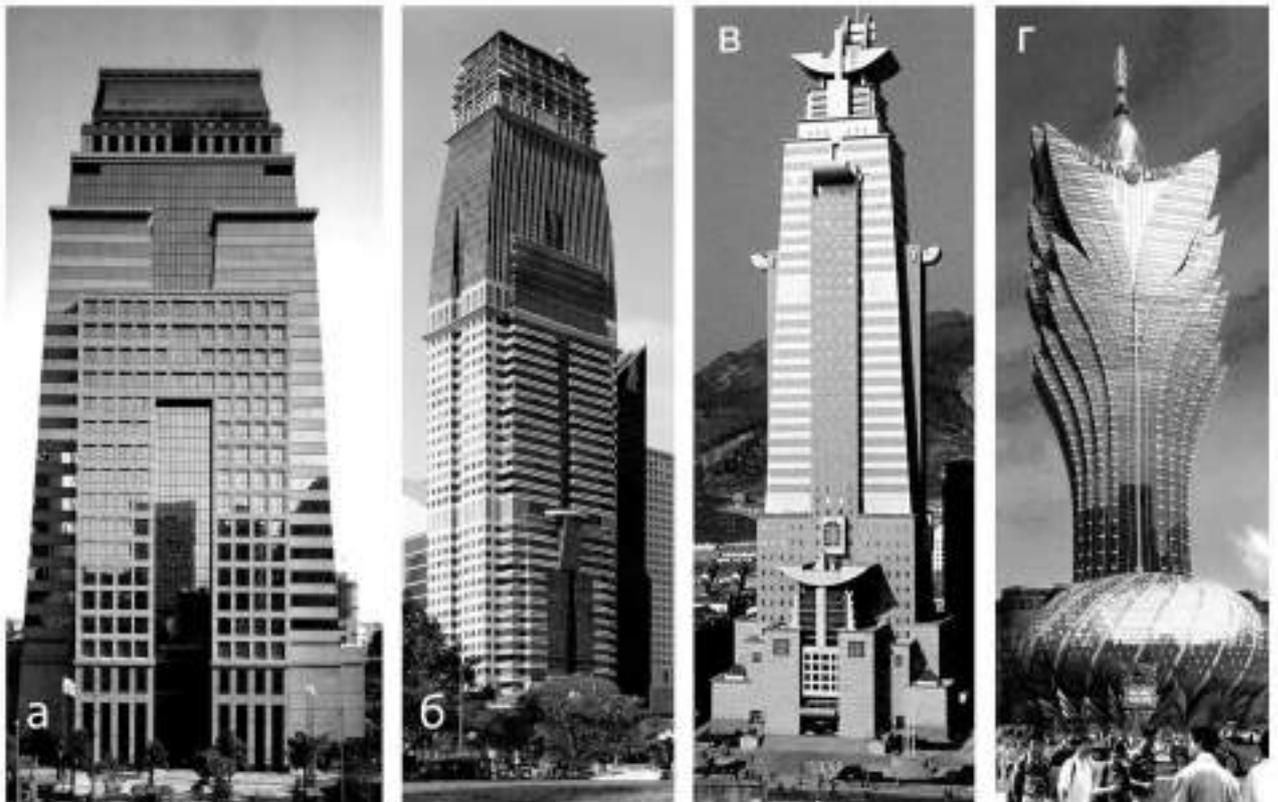
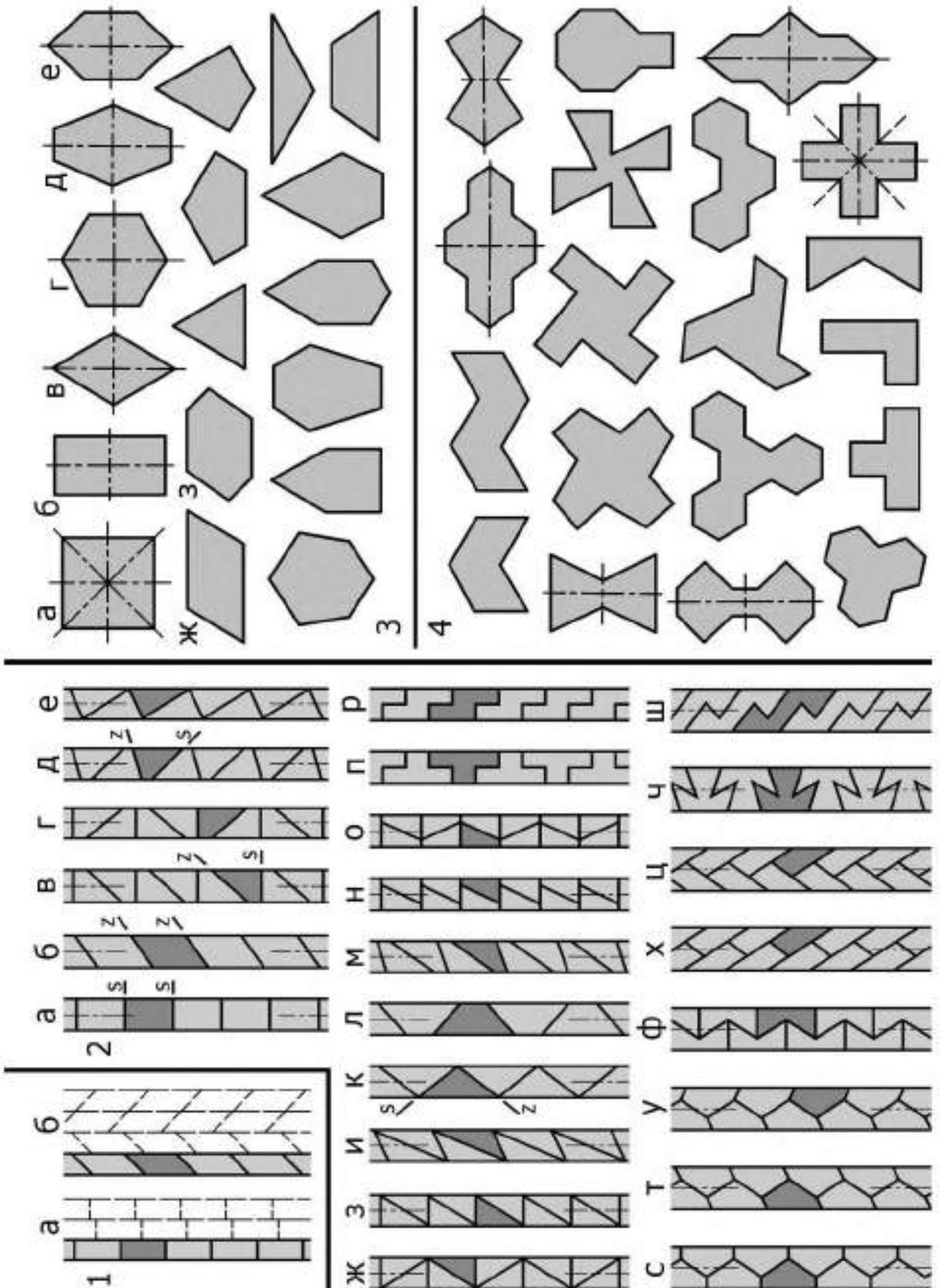


Рисунок 36 - Специфические региональные/национальные качества объектов архитектуры и дизайна в контексте прогрессирующей профессиональной конвергенции. Образы исторических прототипов в современных градостроительных объектах: творческое переосмысление или прямое заимствование. Дух национальной культуры в современной архитектуре стран Юго-Восточной Азии. Источники: а,б,в,г- [ 42 ]; д- рисунки Коротича А.В.



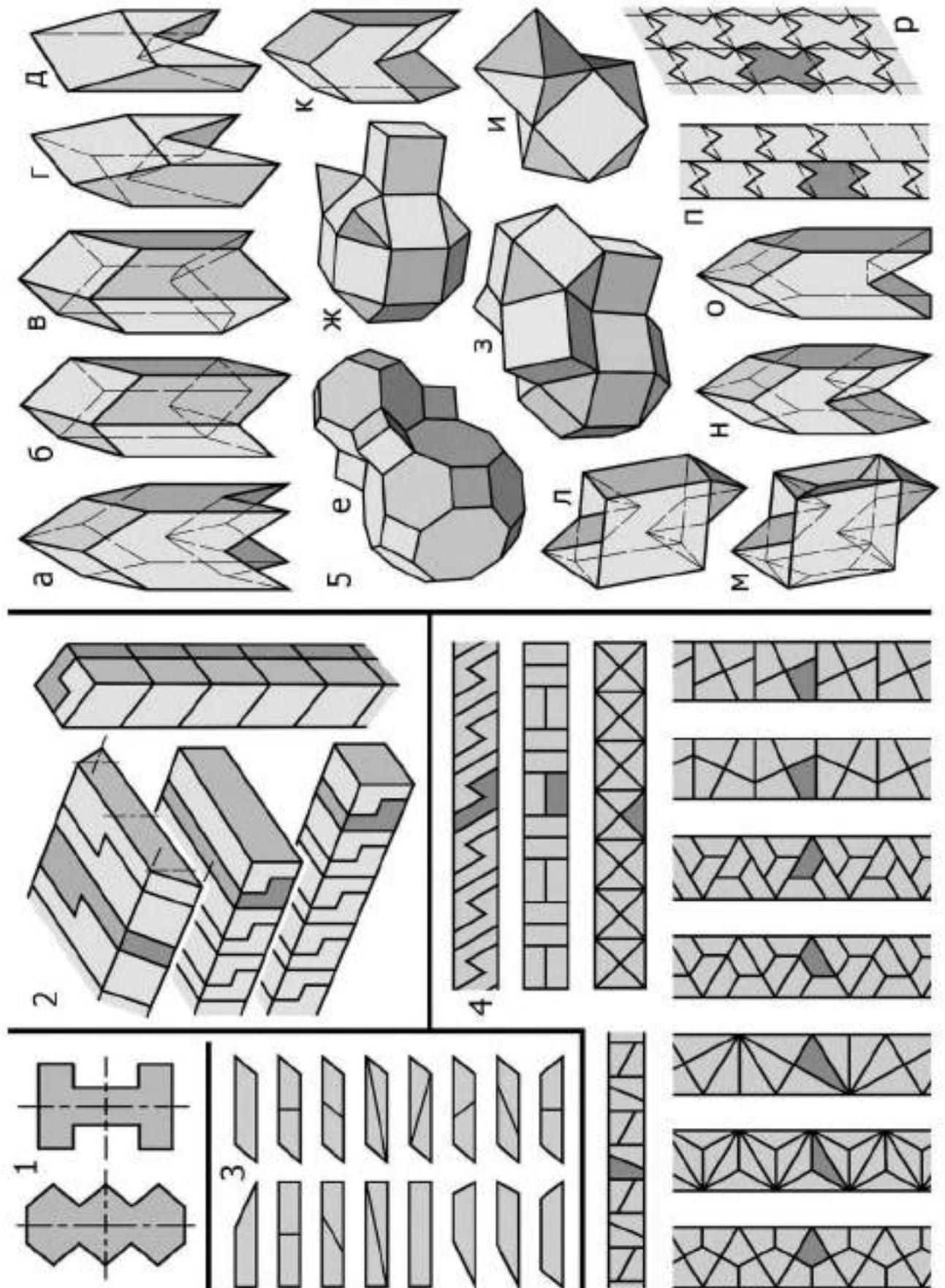
# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 37 - Общая теория плотнейшего заполнения трехмерного пространства идентичными/однотипными/зеркально равными выпуклыми и невыпуклыми призматическими и непризматическими многогранными модулями. Основные морфотипы "слоев/плит", "стержней/пилонов", "капсул", "брусков" и "лент" как основы комбинаторного формотворчества. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.



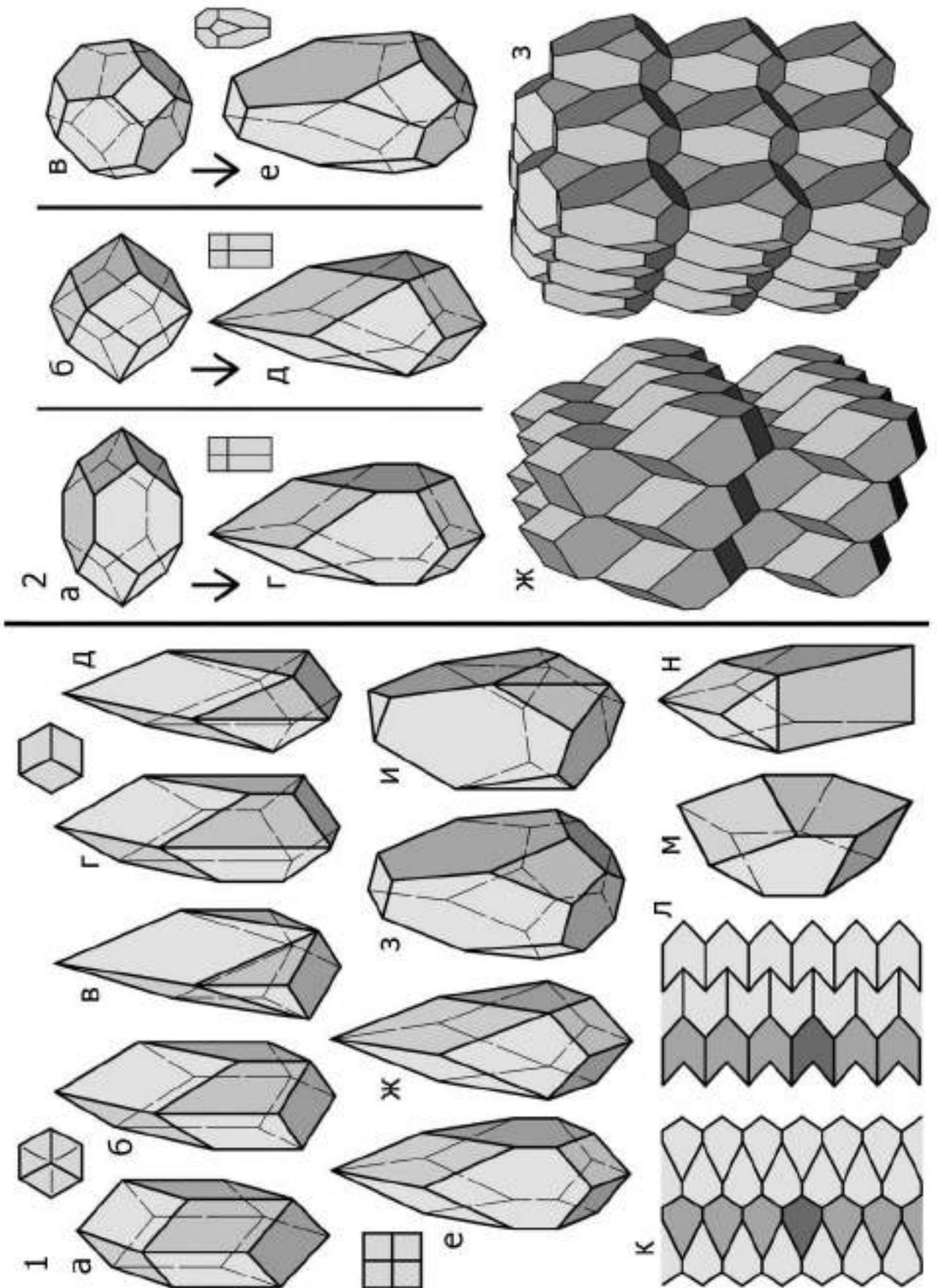
# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 38 - Общая теория плотнейшего заполнения трехмерного пространства идентичными/однотипными/зеркально равными выпуклыми и невыпуклыми призматическими и непризматическими многогранными модулями. Основные морфотипы "слоев/плит", "стержней/пилонов", "капсул", "брусков" и "лент" как основы комбинаторного формотворчества. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.



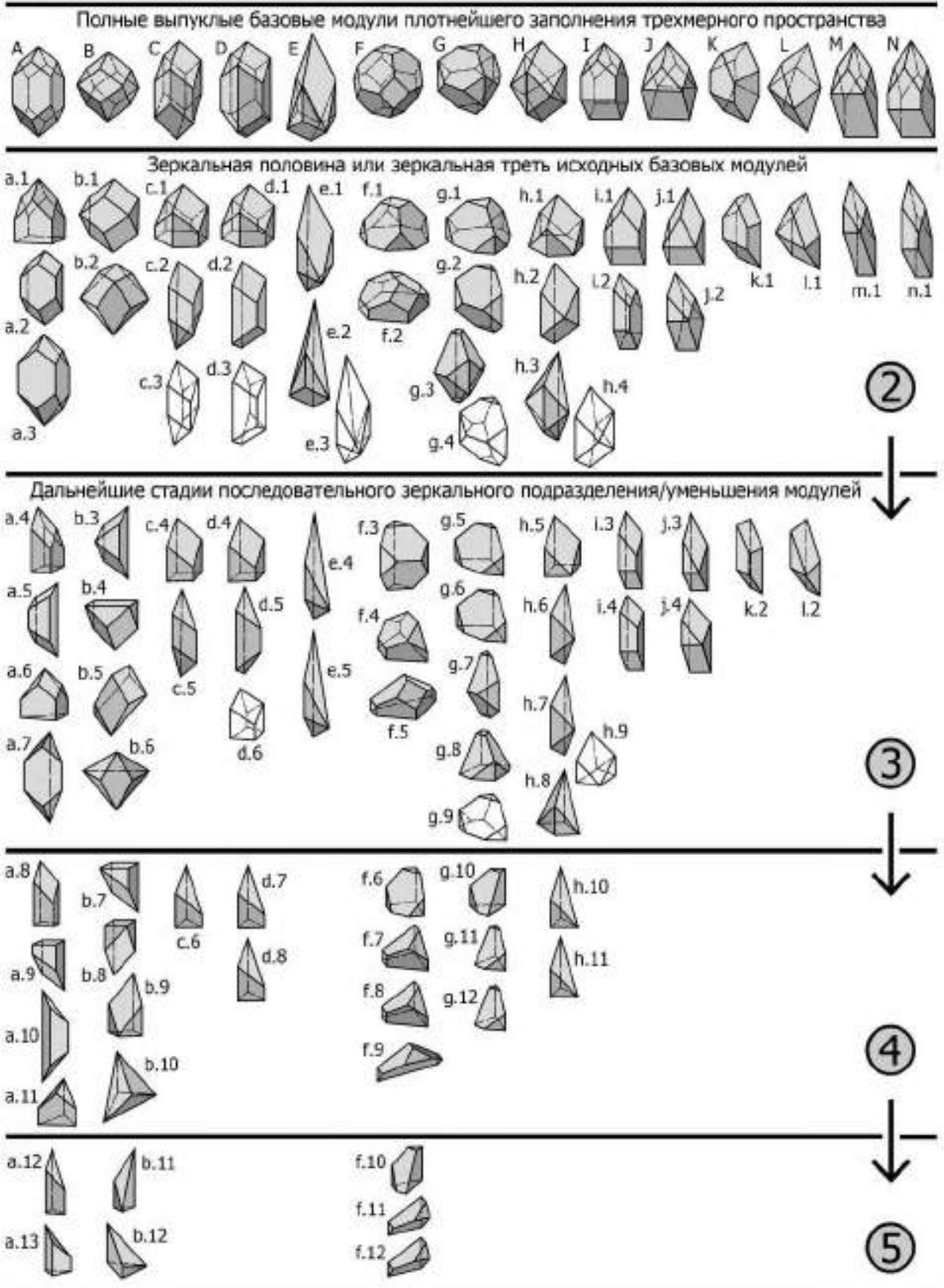
# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 39 - Общая теория плотнейшего заполнения трехмерного пространства идентичными/однотипными/зеркально равными выпуклыми и невыпуклыми призматическими и непризматическими многогранными модулями. Основные морфотипы "слоев/плит", "стержней/пилонов", "капсул", "брусков" и "лент" как основы комбинаторного формотворчества. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.



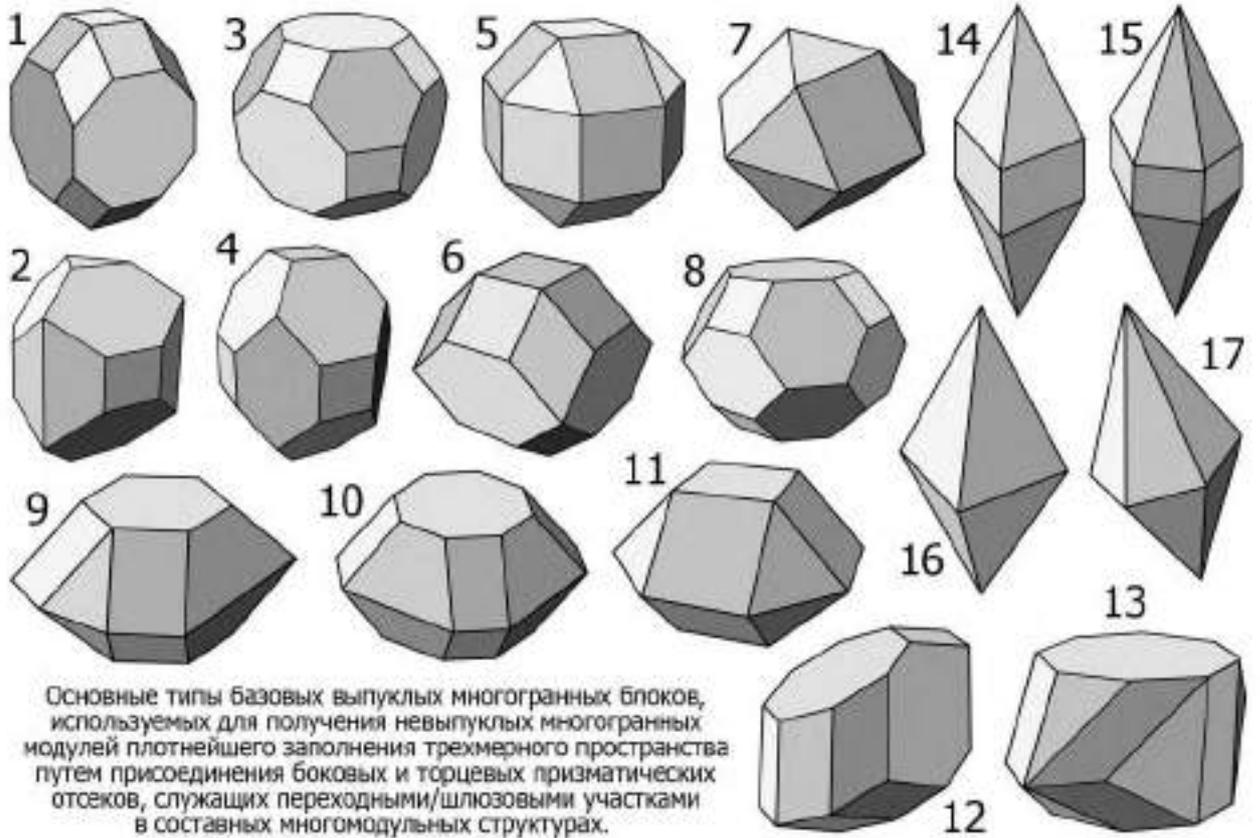
# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 40 - Алгоритм последовательного зеркального подразделения базовых выпуклых непрямоугольных модулей-"капсул" на более мелкие части как автономные непрямоугольные модули, способные образовывать комбинаторно неизоморфные варианты плотнейшего заполнения трехмерного пространства при компоновке в "слои", "стержни", "бруски", "ленты". Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

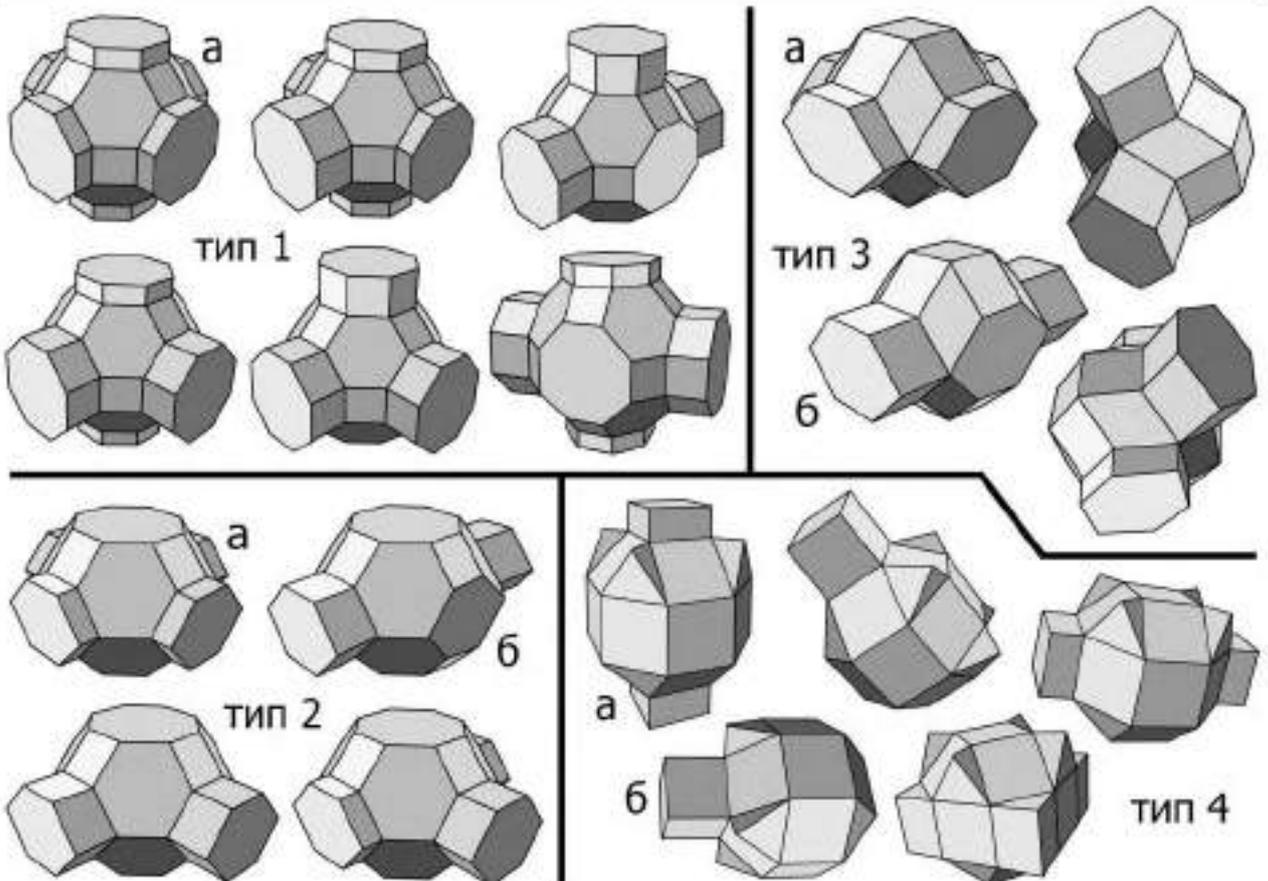


# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 41 - Моделирование новых типов невыпуклых плоскогранных модулей составных многомодульных структур плотнейшего заполнения трехмерного пространства путем присоединения к базовым выпуклым зеркально симметричным многогранным блокам дополнительных структурных элементов (пирамидальных и призматических отсеков) в различных вариантах. Автор алгоритмов, новых моделей и рисунков Коротич А.В.

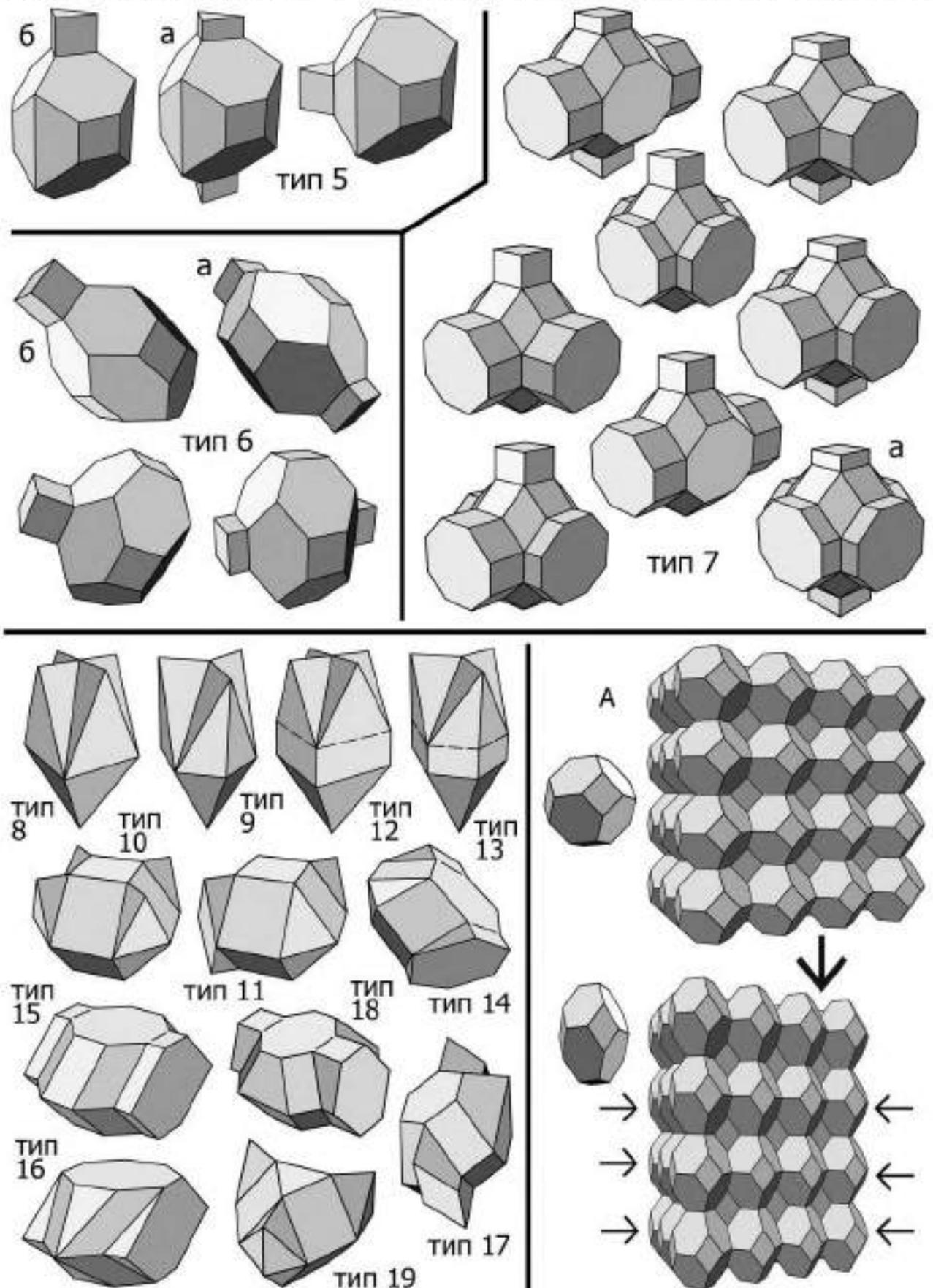


Основные типы базовых выпуклых многогранных блоков, используемых для получения невыпуклых многогранных модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства путем присоединения боковых и торцевых призматических отсеков, служащих переходными/шлюзовыми участками в составных многомодульных структурах.



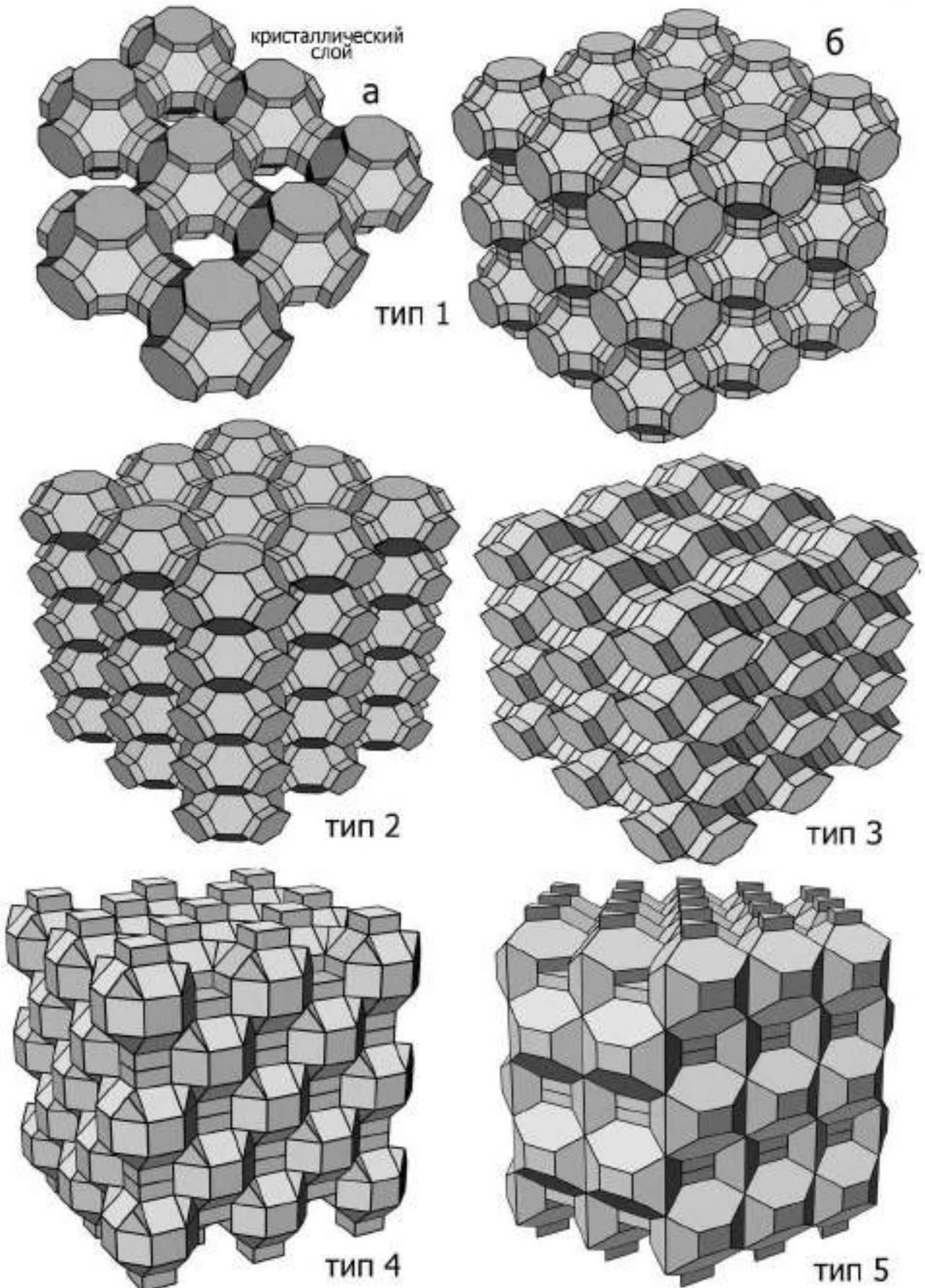
# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 42 - Моделирование новых типов невыпуклых плоскогранных модулей составных многомодульных структур плотнейшего заполнения трехмерного пространства путем присоединения к базовым выпуклым зеркально симметричным многогранным блокам дополнительных структурных элементов (пирамидальных и призматических отсеков) в различных вариантах. Автор алгоритмов, новых моделей и рисунков Коротич А.В.



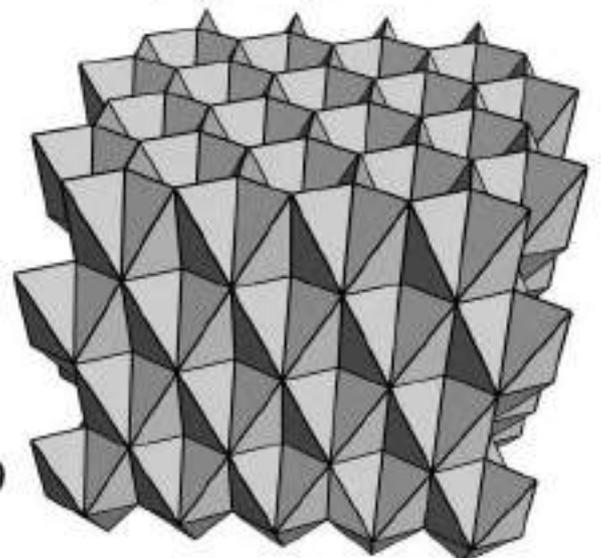
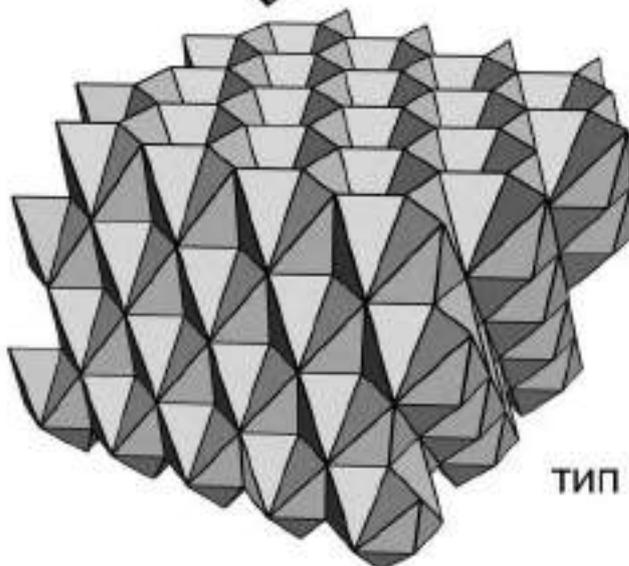
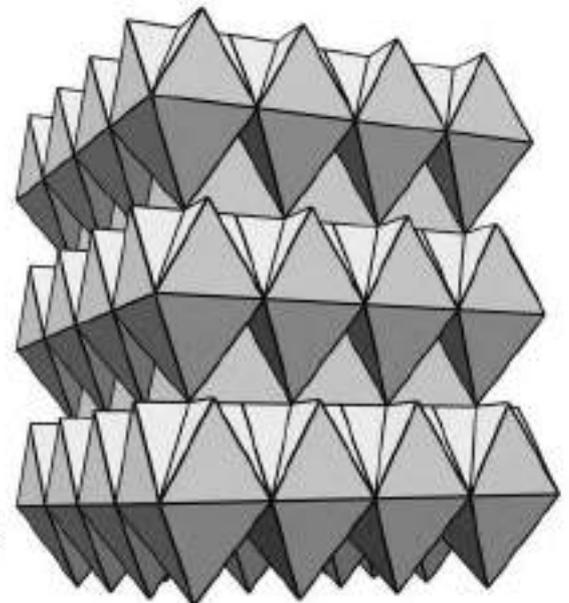
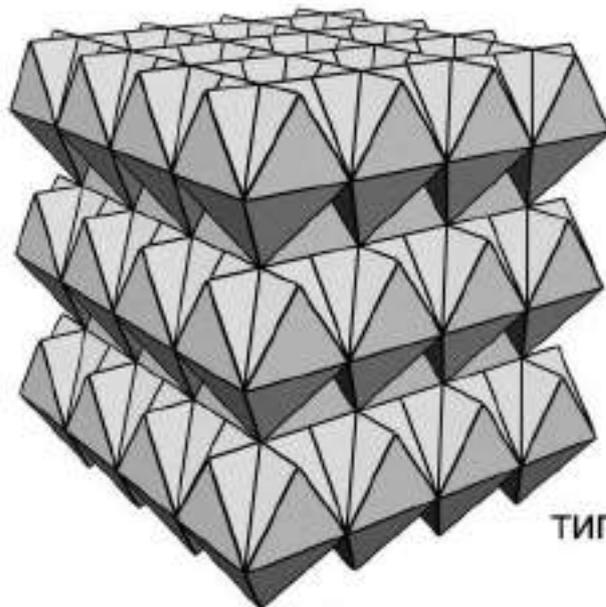
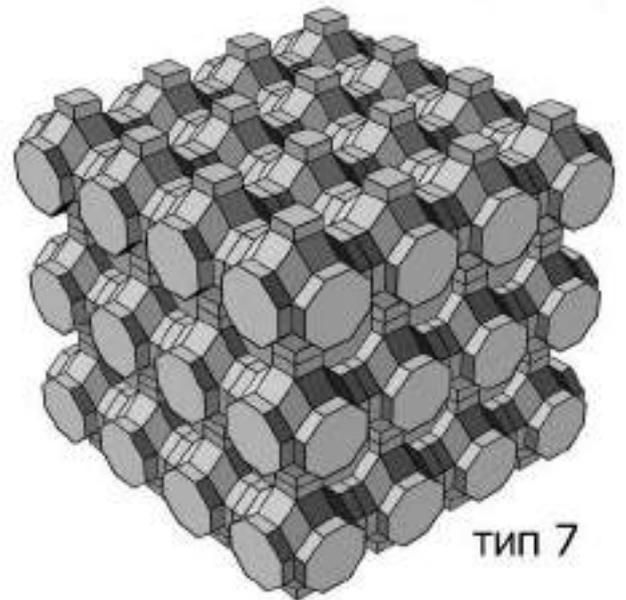
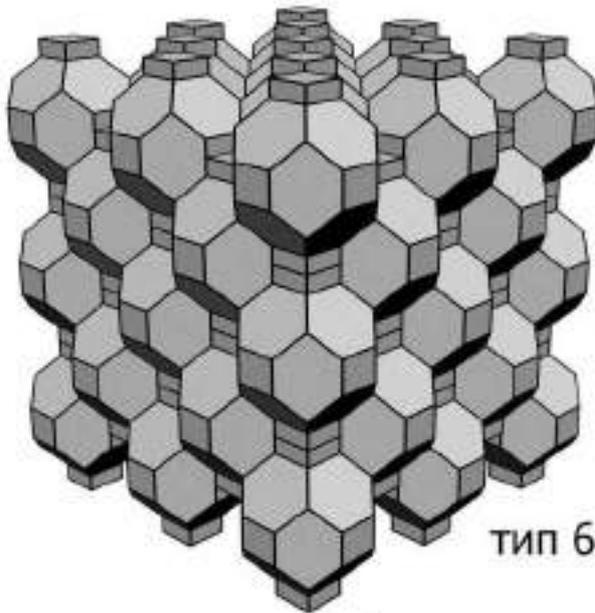
# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 43 - Составные многомодульные структуры плотнейшего заполнения трехмерного пространства, образованные различными типами невыпуклых многогранных модулей, составленных в кристаллические слои, смежные из которых смещены относительно друг друга. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.



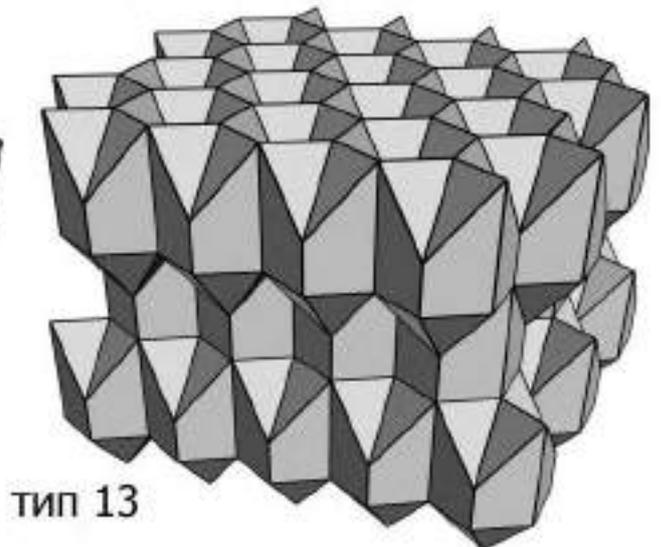
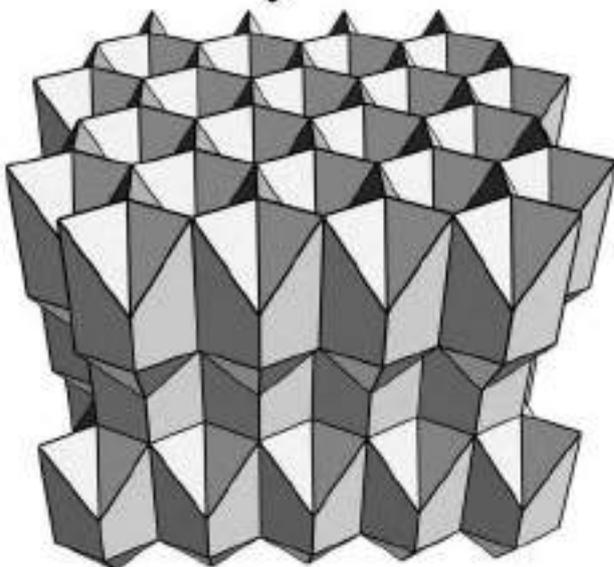
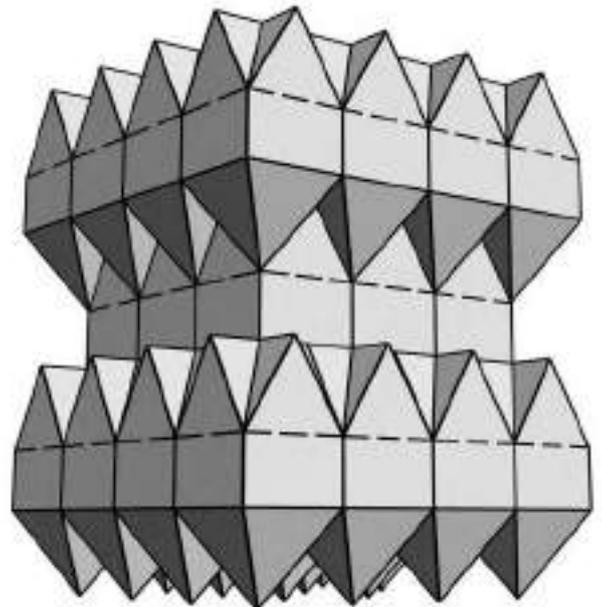
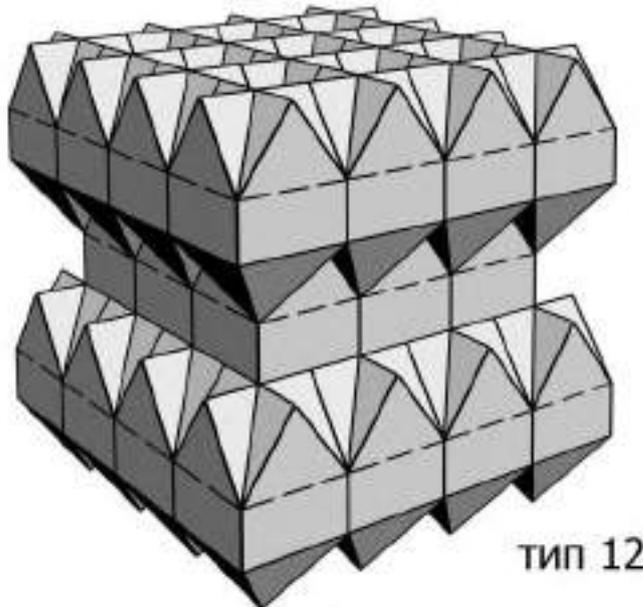
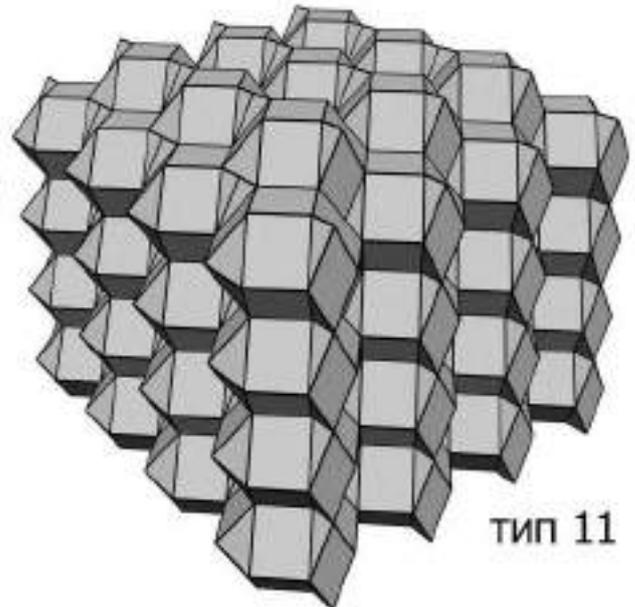
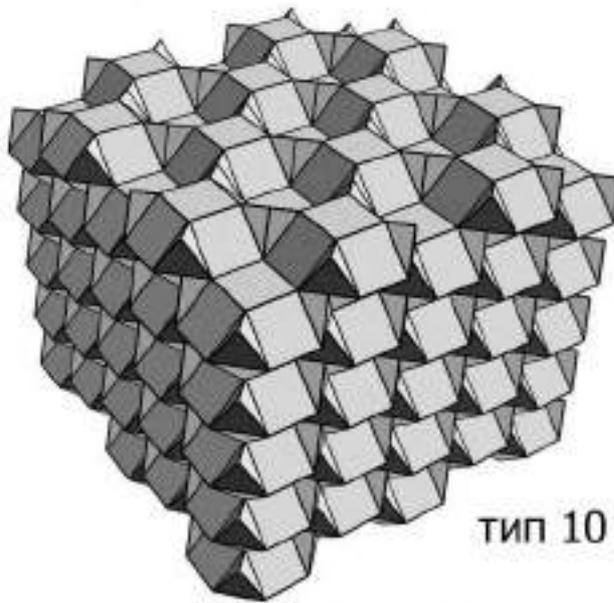
# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 44 - Составные многомодульные структуры плотнейшего заполнения трехмерного пространства, образованные различными типами невыпуклых многогранных модулей, составленных в кристаллические слои, смежные из которых смещены относительно друг друга. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.



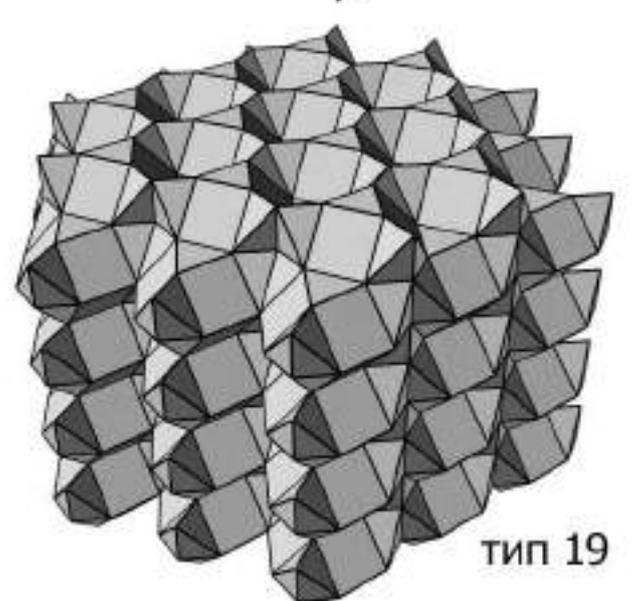
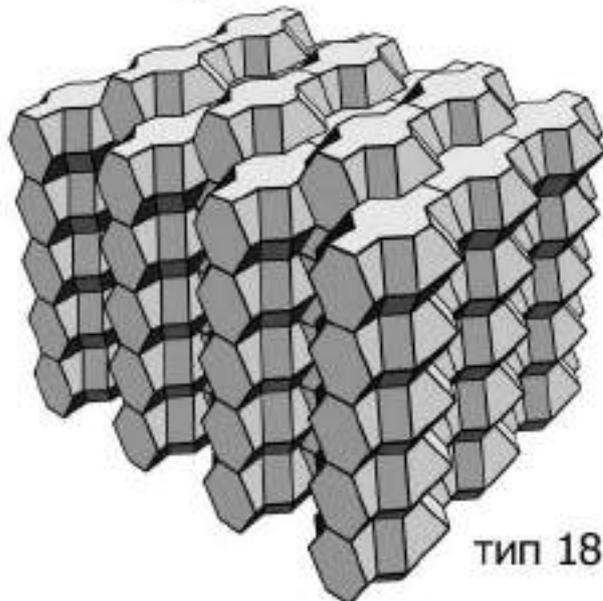
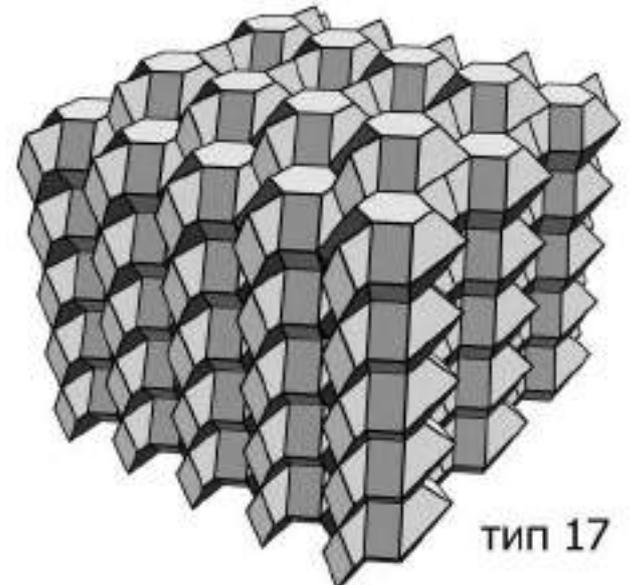
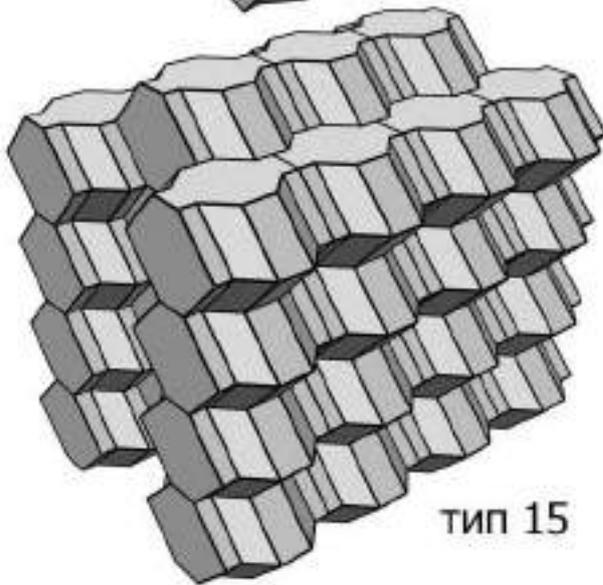
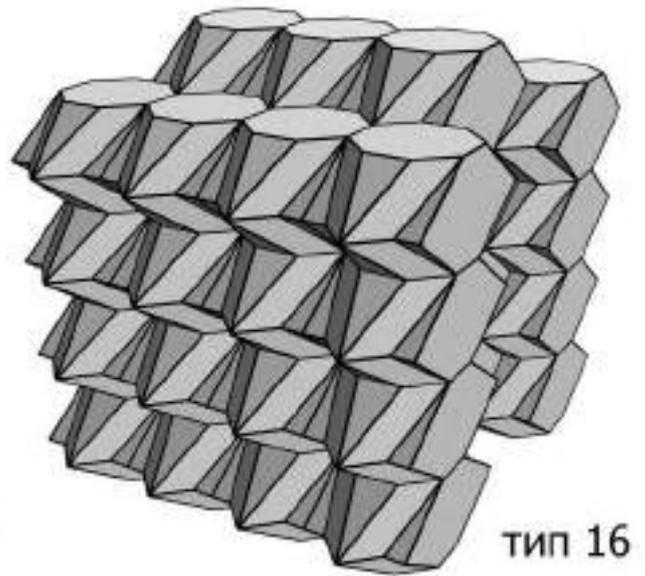
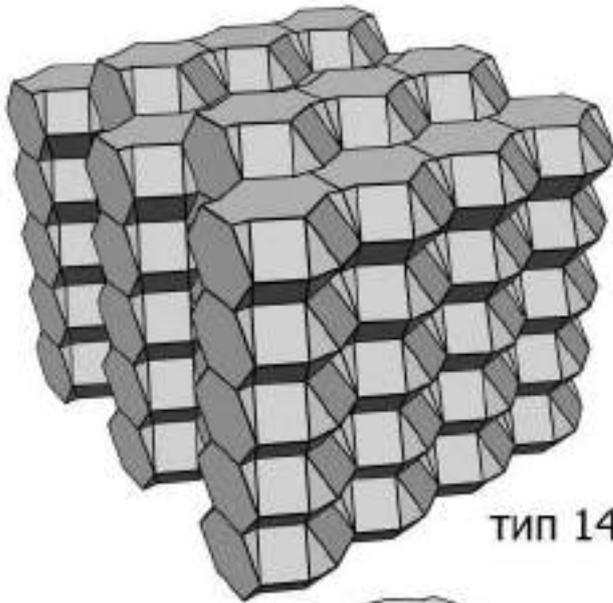
плотнейшие трехмерные структуры  
из многогранных модулей

Рисунок 45 - Составные многомодульные структуры плотнейшего заполнения трехмерного пространства, образованные различными типами невыпуклых многогранных модулей, составленных в кристаллические слои, смежные из которых смещены относительно друг друга. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.



плотнейшие трехмерные структуры  
из многогранных модулей

Рисунок 46 - Составные многомодульные структуры плотнейшего заполнения трехмерного пространства, образованные различными типами невыпуклых многогранных модулей, составленных в кристаллические слои, смежные из которых смещены относительно друг друга. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.



# плотнейшие трехмерные структуры из многогранных модулей

Рисунок 47 - различные типы модулей плотнейшего заполнения трехмерного пространства, поверхность которых содержит отсеки линейчатых поверхностей гиперболического параболоида, коноида, цилиндриоида, однополостного гиперболоида. Предварительная компоновка модулей производится в "слои/плиты" (классические и кристаллические), а также "стержни/пилонь". Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

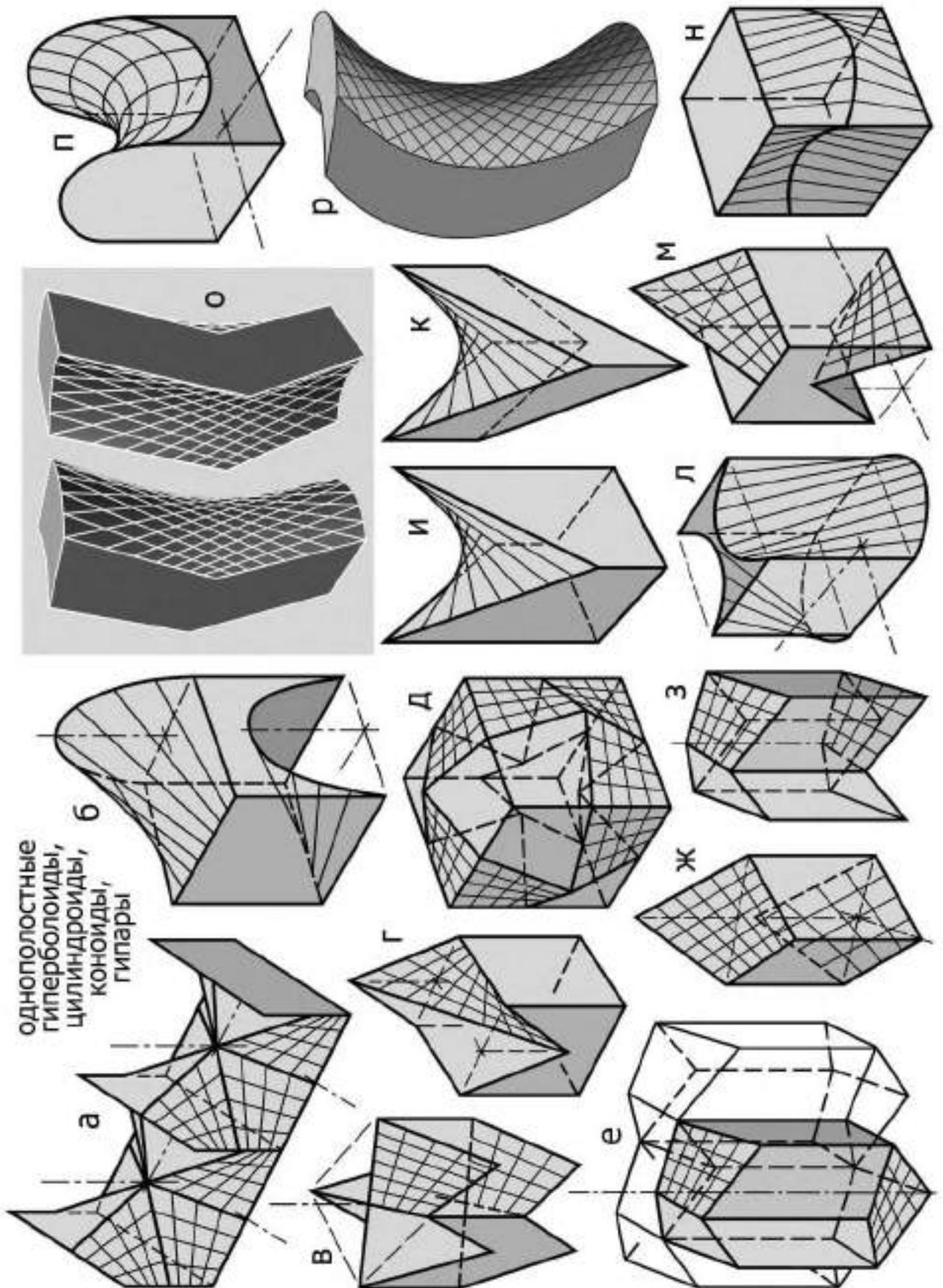
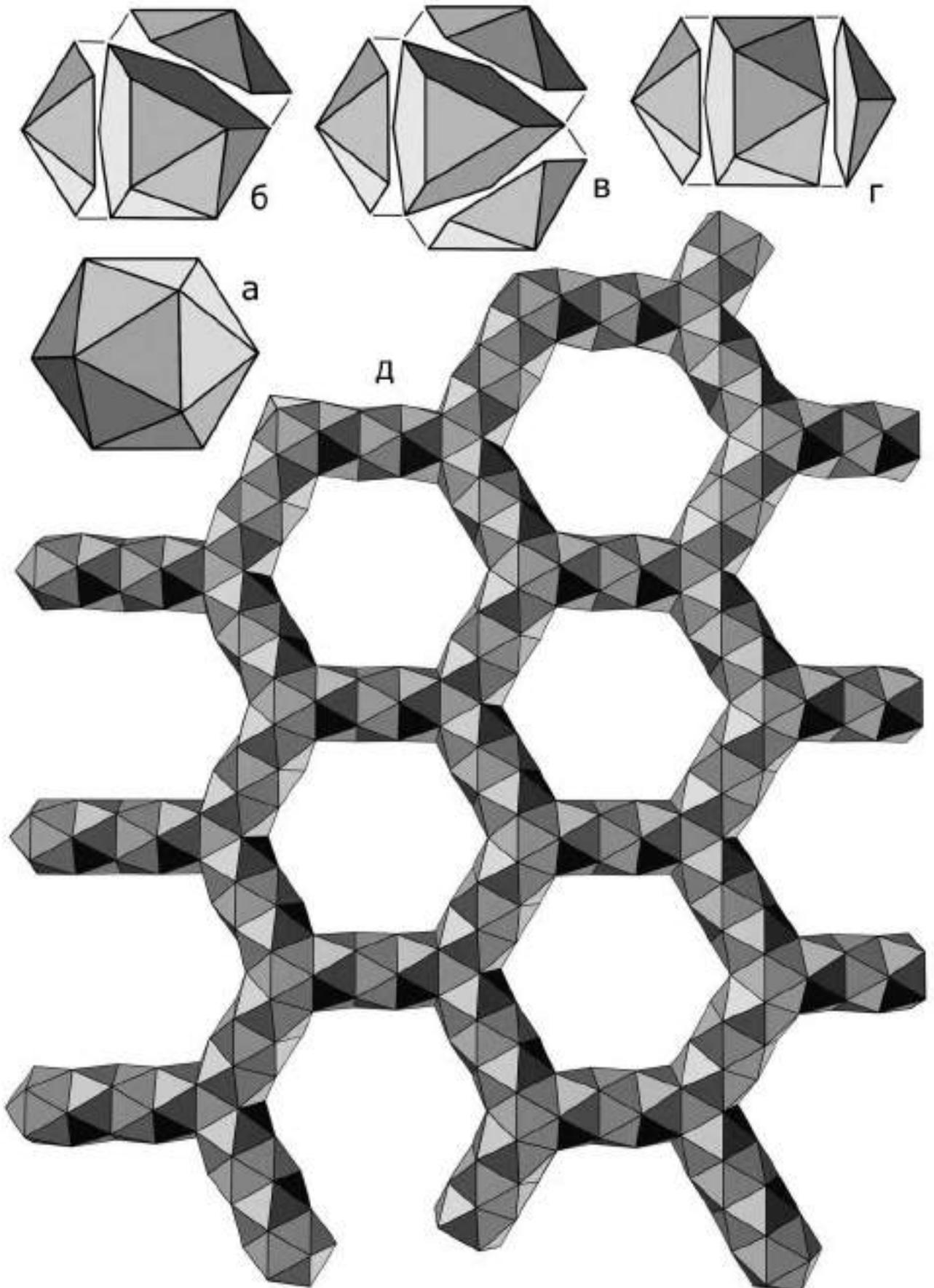


Рисунок 48 - Геометрическое конструирование многозвенных разветвленных регулярных структур, составленных из модулей (классических правильных и полуправильных многогранников или их отсеков) и имеющих сквозную решетчатую ячейковую конфигурацию. Базовый модуль - икосаздр с отсеченными пятиугольными "чашами" в четырех вариантах (показаны три из них). Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.



# решетчатые структуры из многогранных модулей

Рисунок 49 - Геометрическое конструирование многозвенных разветвленных регулярных структур, составленных из модулей (классических правильных и полуправильных многогранников или их отсеков) и имеющих сквозную/решетчатую ячеистую конфигурацию. Базовый модуль - додекаэдр. Модули стыкуются по краям пятиугольных оснований без взаимного пересечения. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

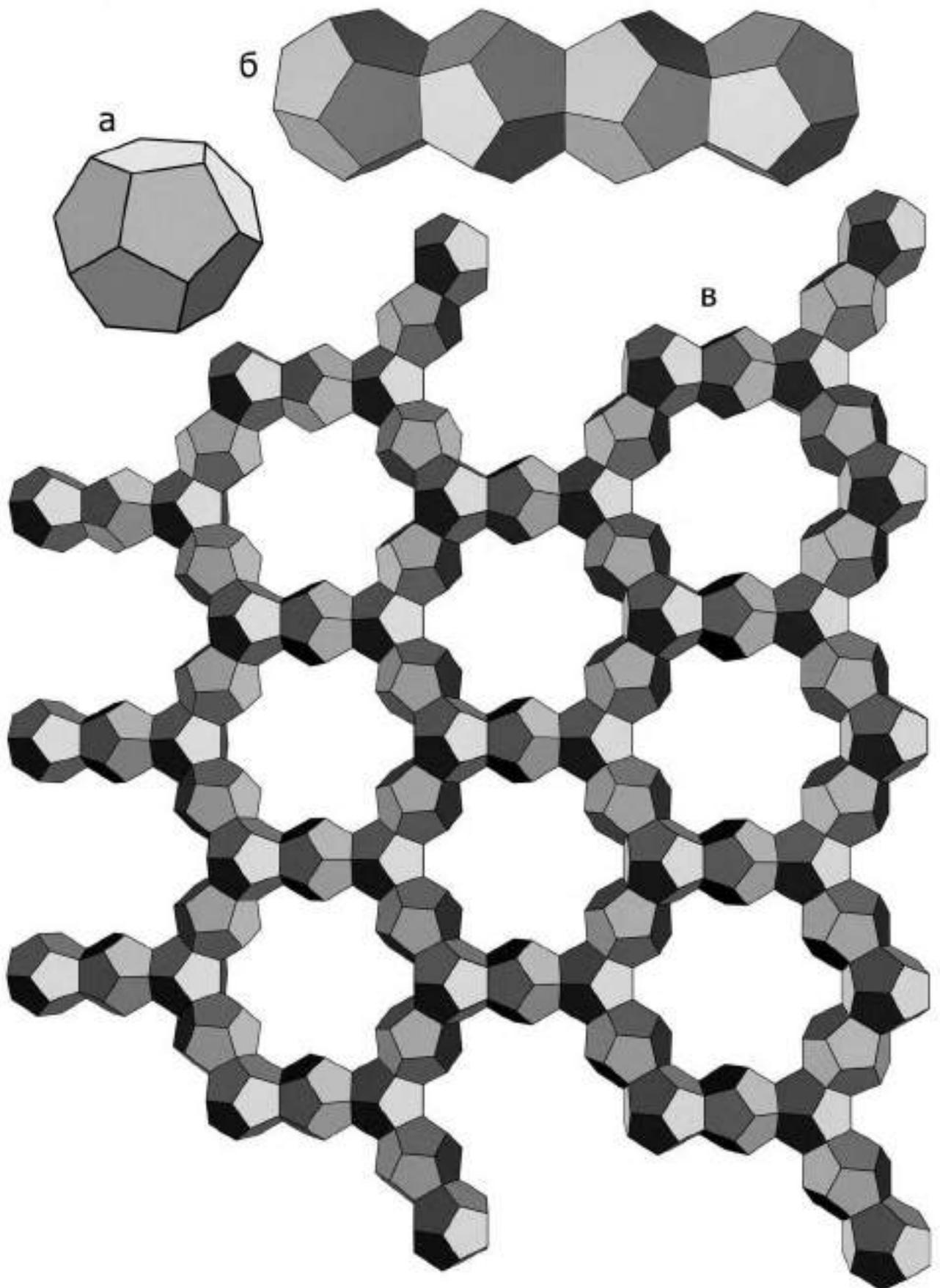


Рисунок 50 - Геометрическое конструирование многозвенных разветвленных регулярных структур, составленных из модулей (классических правильных и полуправильных многогранников или их отсеков) и имеющих сквозную решетчатую ячеистую конфигурацию. Базовый модуль - ромбоикосододекаэдр с отсеченными десятиугольными "чашами" в трех вариантах (показаны два из них). Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

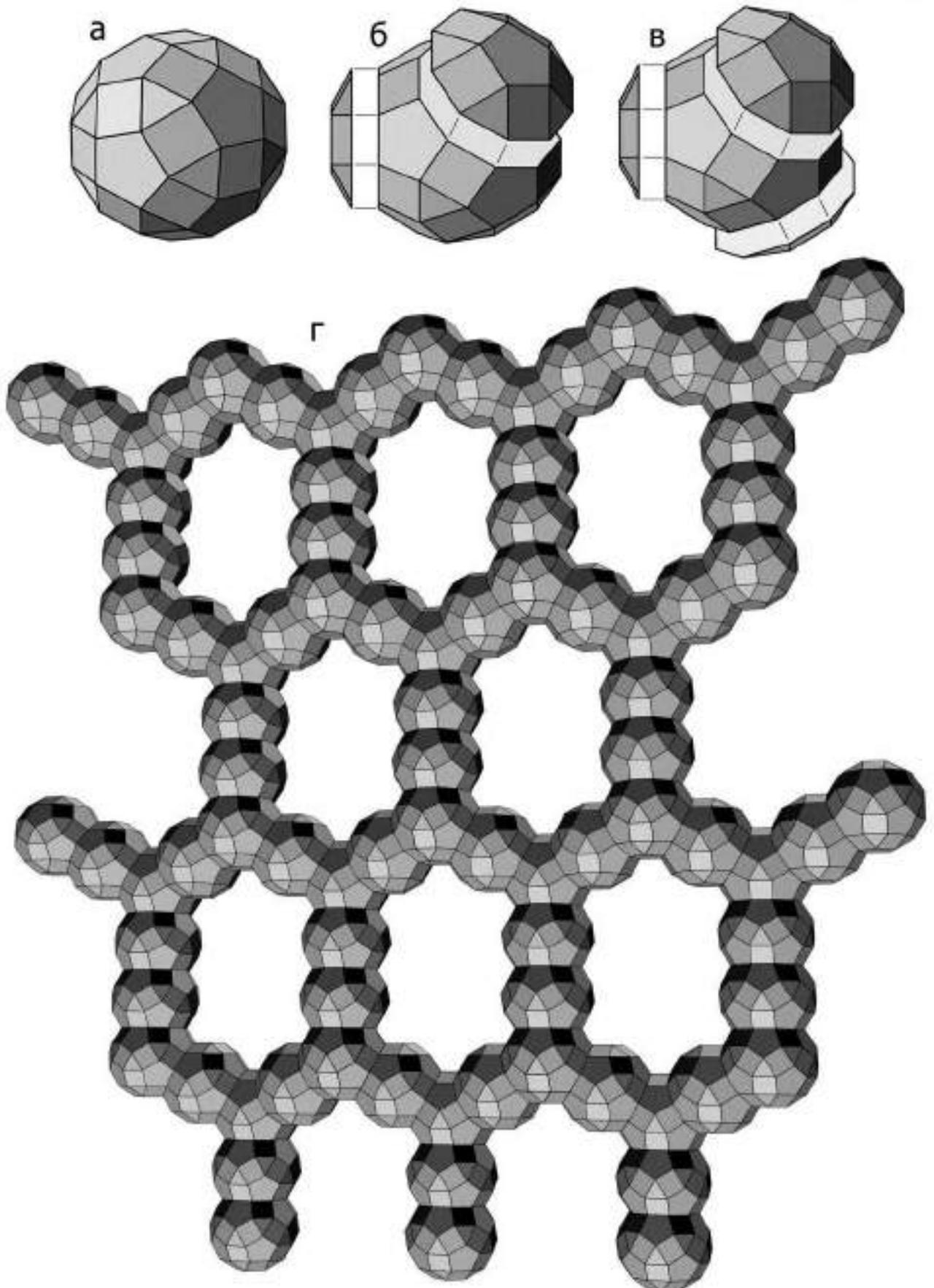


Рисунок 51 - Геометрическое конструирование многозвенных разветвленных регулярных структур, составленных из модулей (классических правильных и полуправильных многогранников или их отсеков) и имеющих сквозную/решетчатую ячеистую конфигурацию. Базовый модуль - додекаэдр. Модули состыкованы по краям пятиугольных оснований в различных пространственных вариантах. Новые разработанные модели и рисунки Коротича А.В.

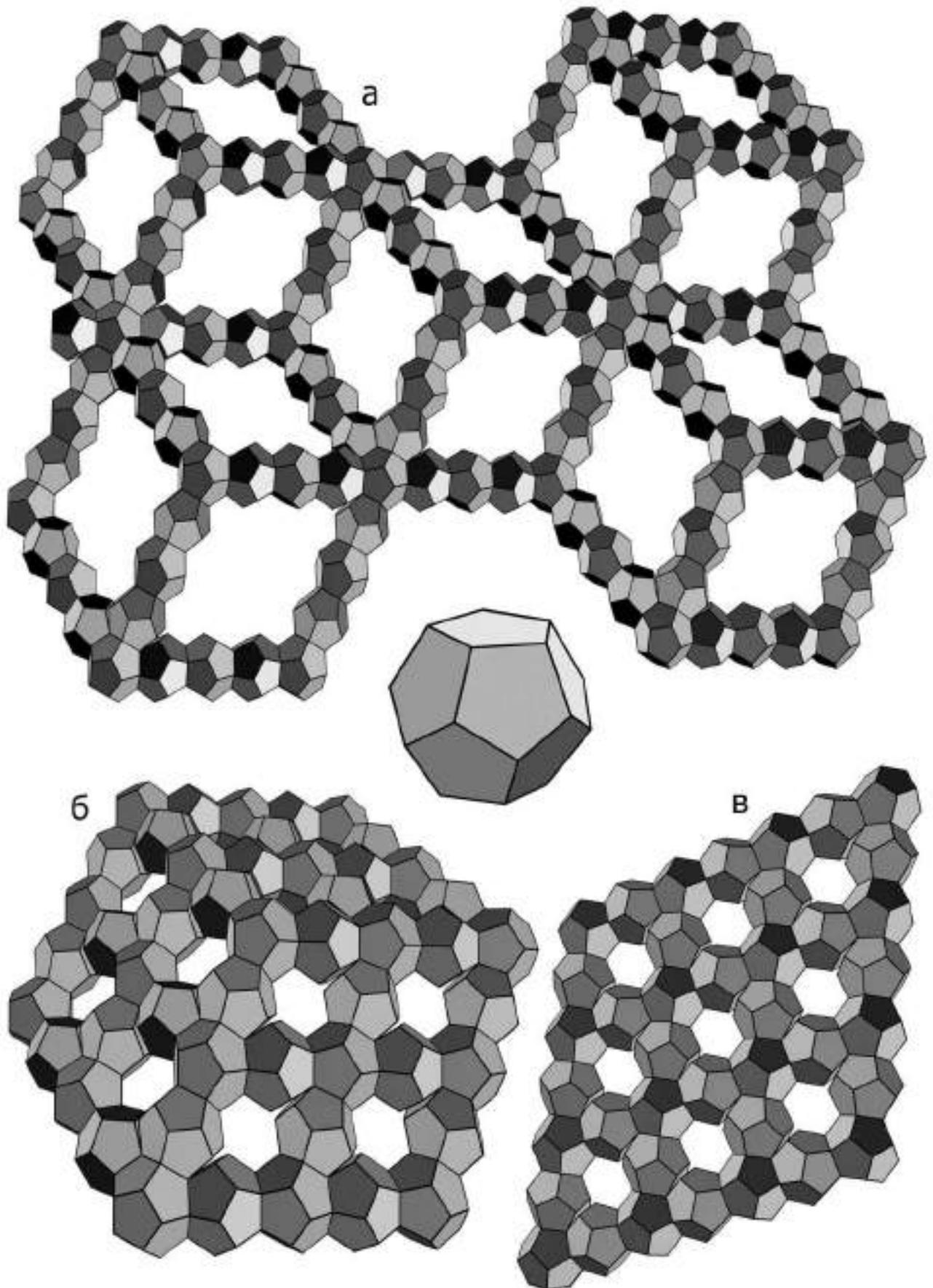


Рисунок 52 - Геометрическое конструирование многозвенных разветвленных регулярных структур, составленных из модулей (классических правильных и полуправильных многогранников или их отсеков) и имеющих связанную/решетчатую ячеистую конфигурацию. Базовый модуль - додекаэдр. Модули состыкованы по краям пятиугольных оснований с образованием двенадцатилучевой звездчатой структуры. Трехгранные отсеки модуля состыкованы с образованием однослойной ячеистой поверхности или двухслойной объемной структуры, имеющей внутреннюю полость. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

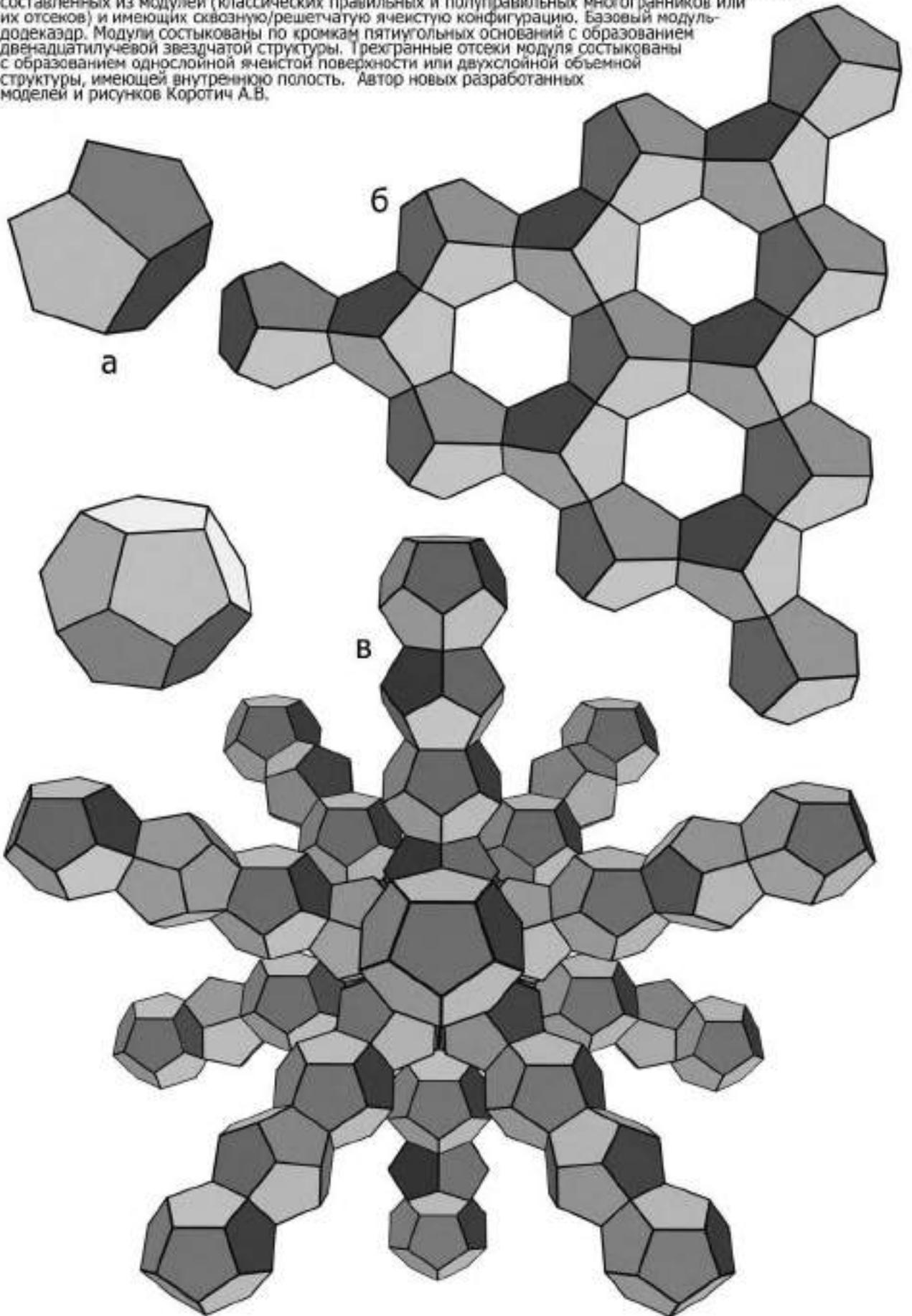
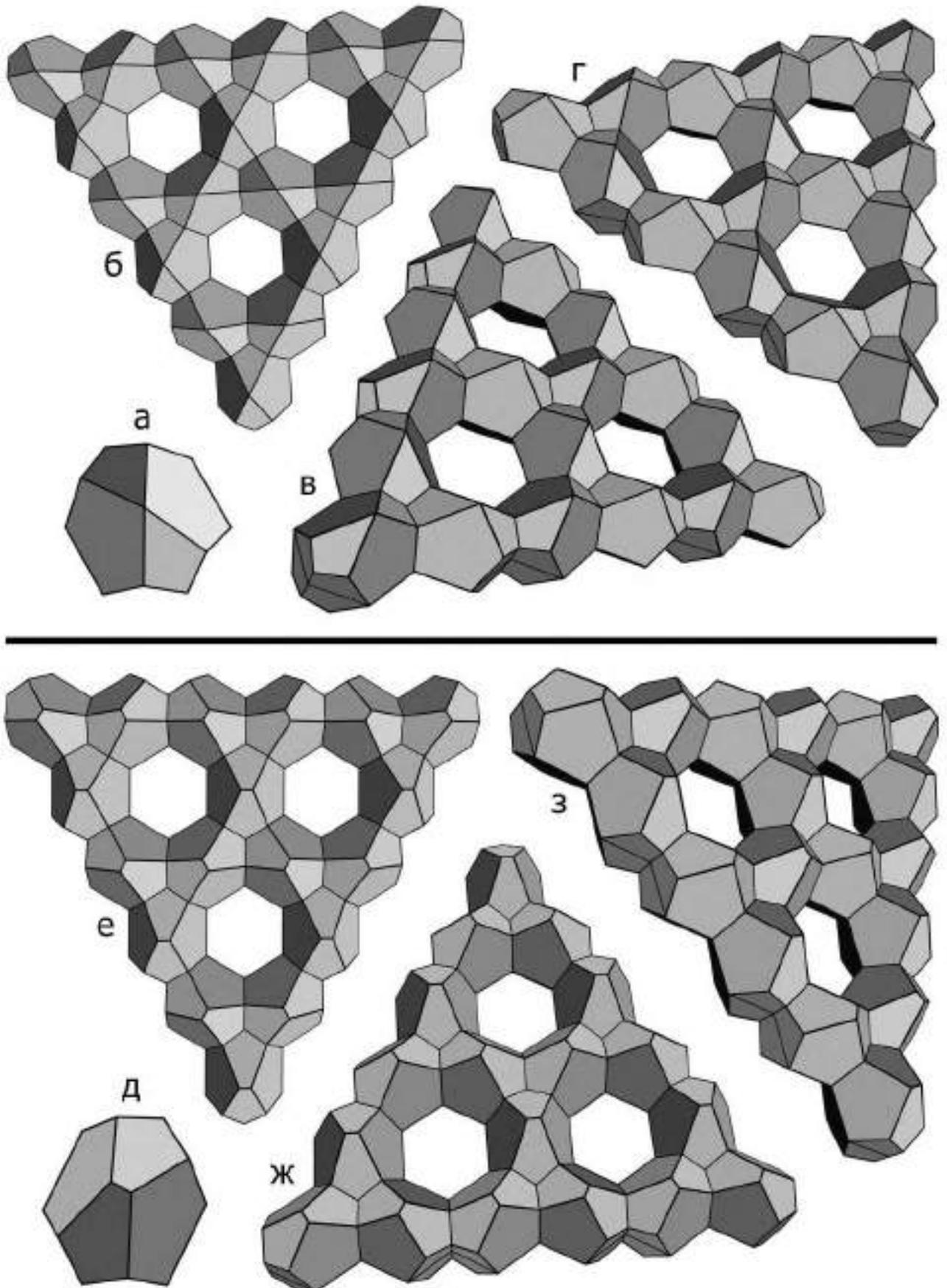


Рисунок 53 - Геометрическое конструирование многозвенных разветвленных регулярных структур, составленных из модулей (плоскогранных отсеков) и имеющих сквозную/решетчатую ячеистую конфигурацию. Базовые модули из четырех пластин состыкованы по краям с образованием однослойной ячеистой поверхности или двухслойной объемной структуры, имеющей внутреннюю полость. Новые разработанные модели и рисунки Коротича А.В.



# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 54 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие формы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Аппроксимация составляющих гипаров зигзагообразными плоскогранными складками. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.

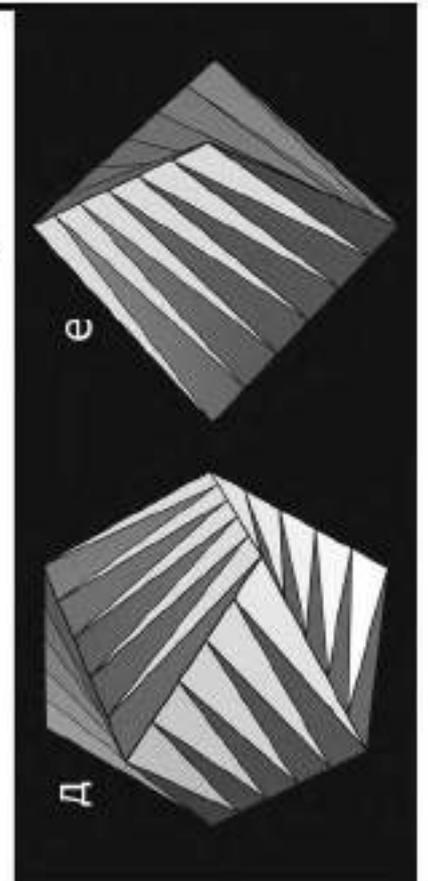
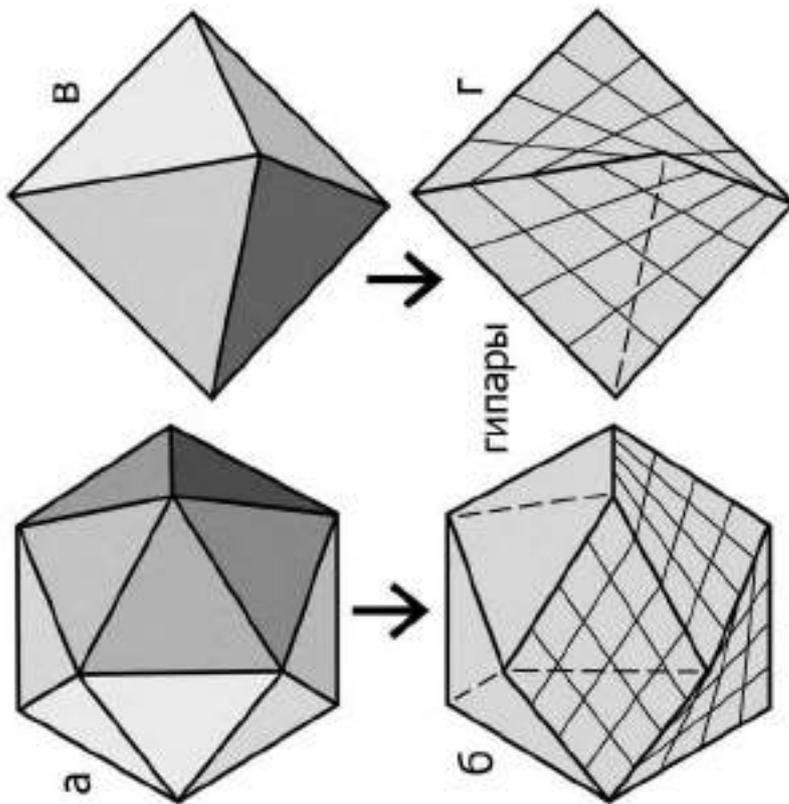
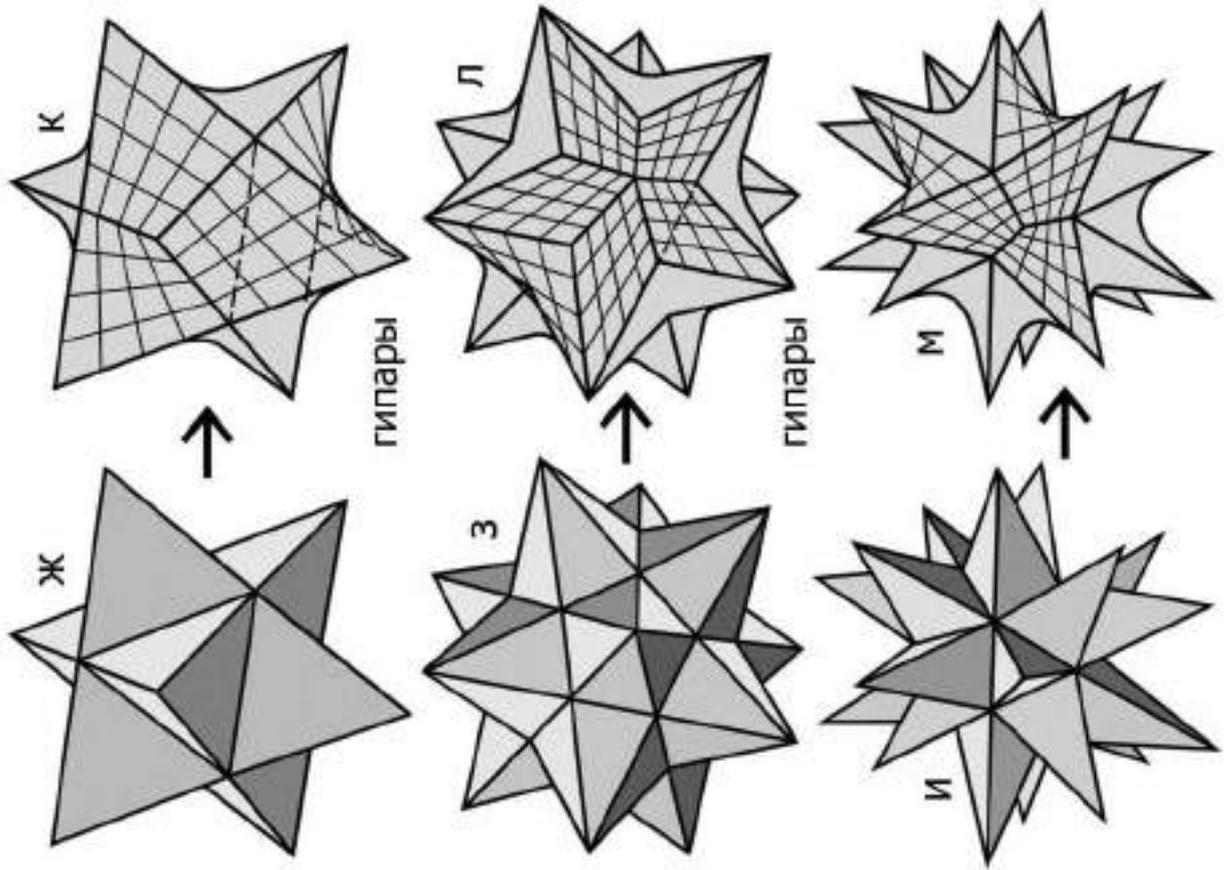
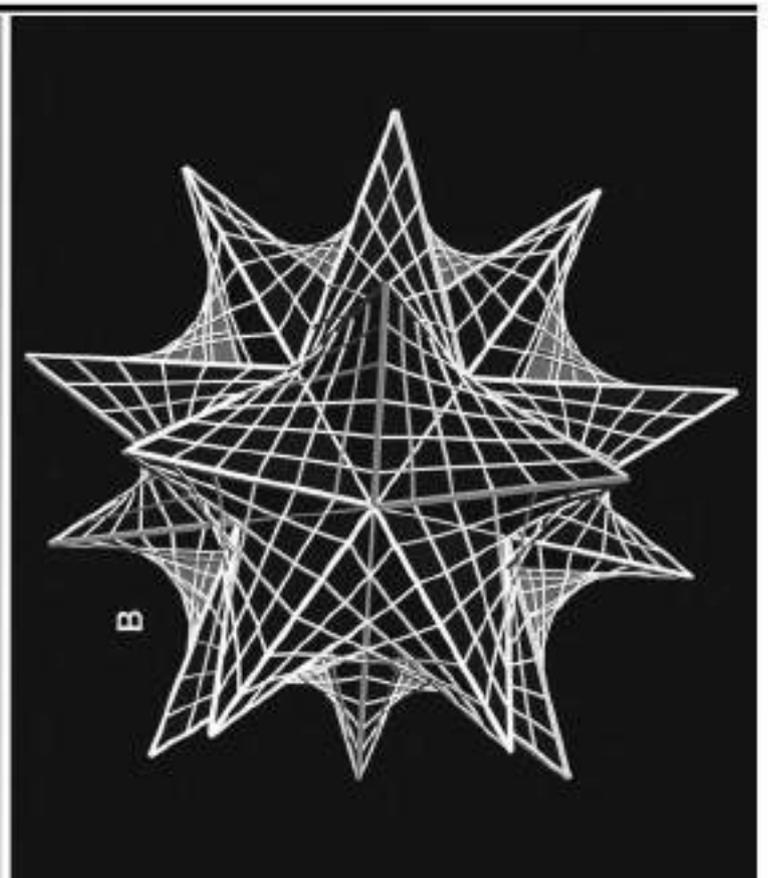
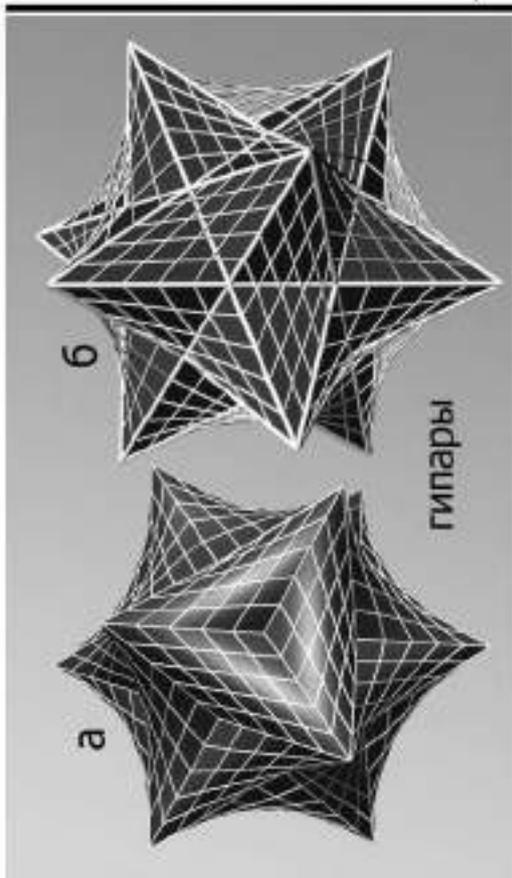
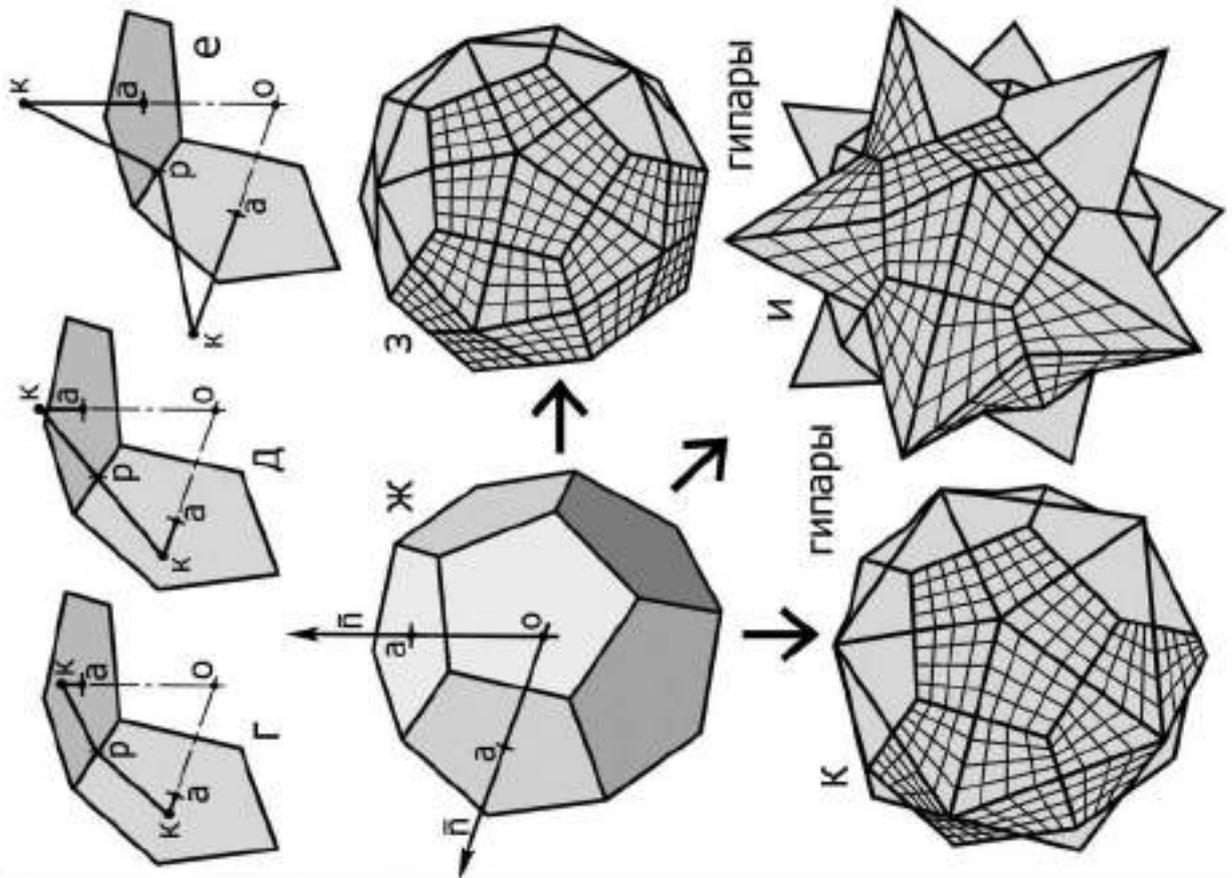
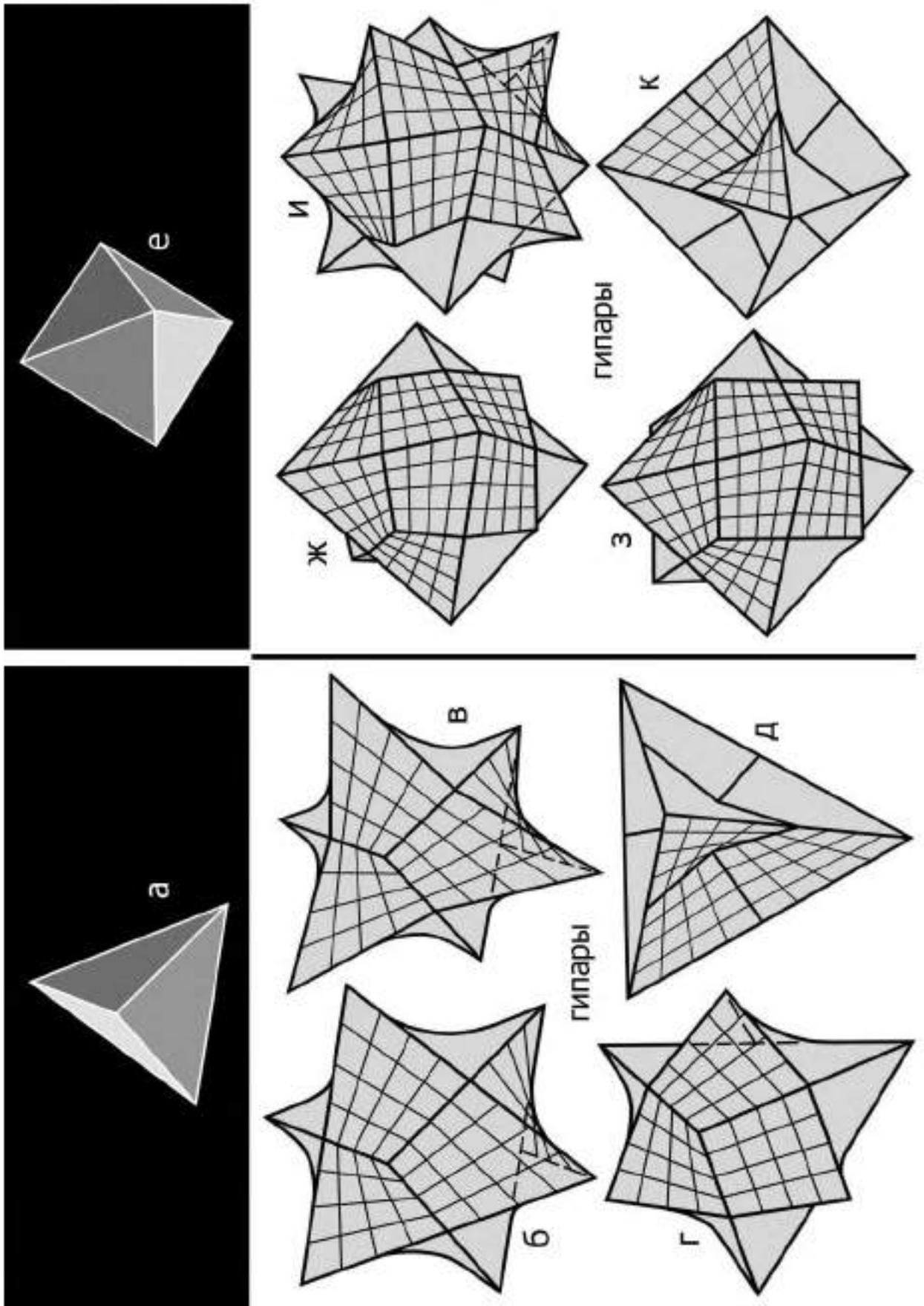


Рисунок 55 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие формы центральных квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Модели квазимногогранников с гипарами в виде сплошной поверхности или решетки. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



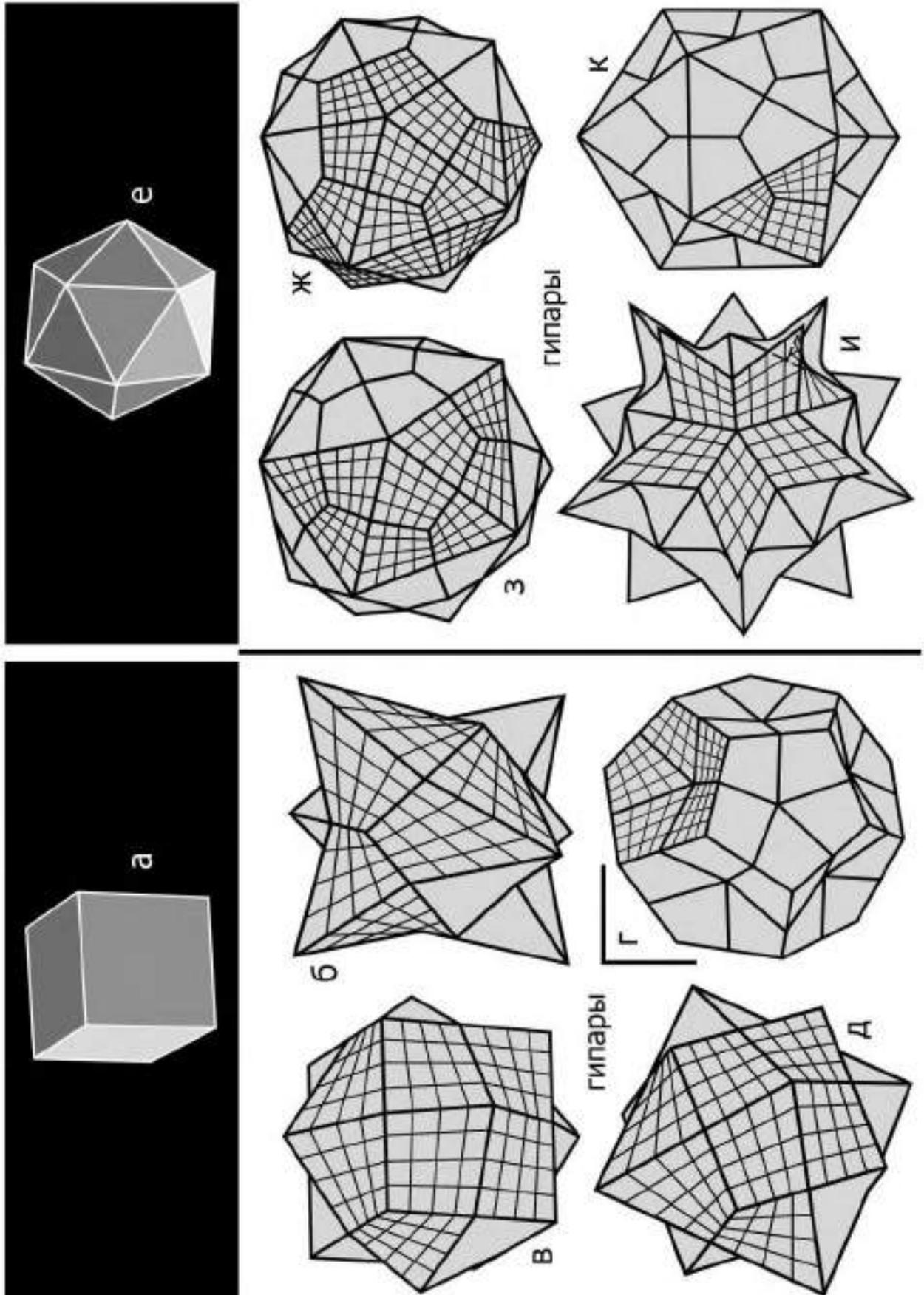
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 56 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие формы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Модели квазимногогранников с выступающими или западающими внутрь поверхности вершинами. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



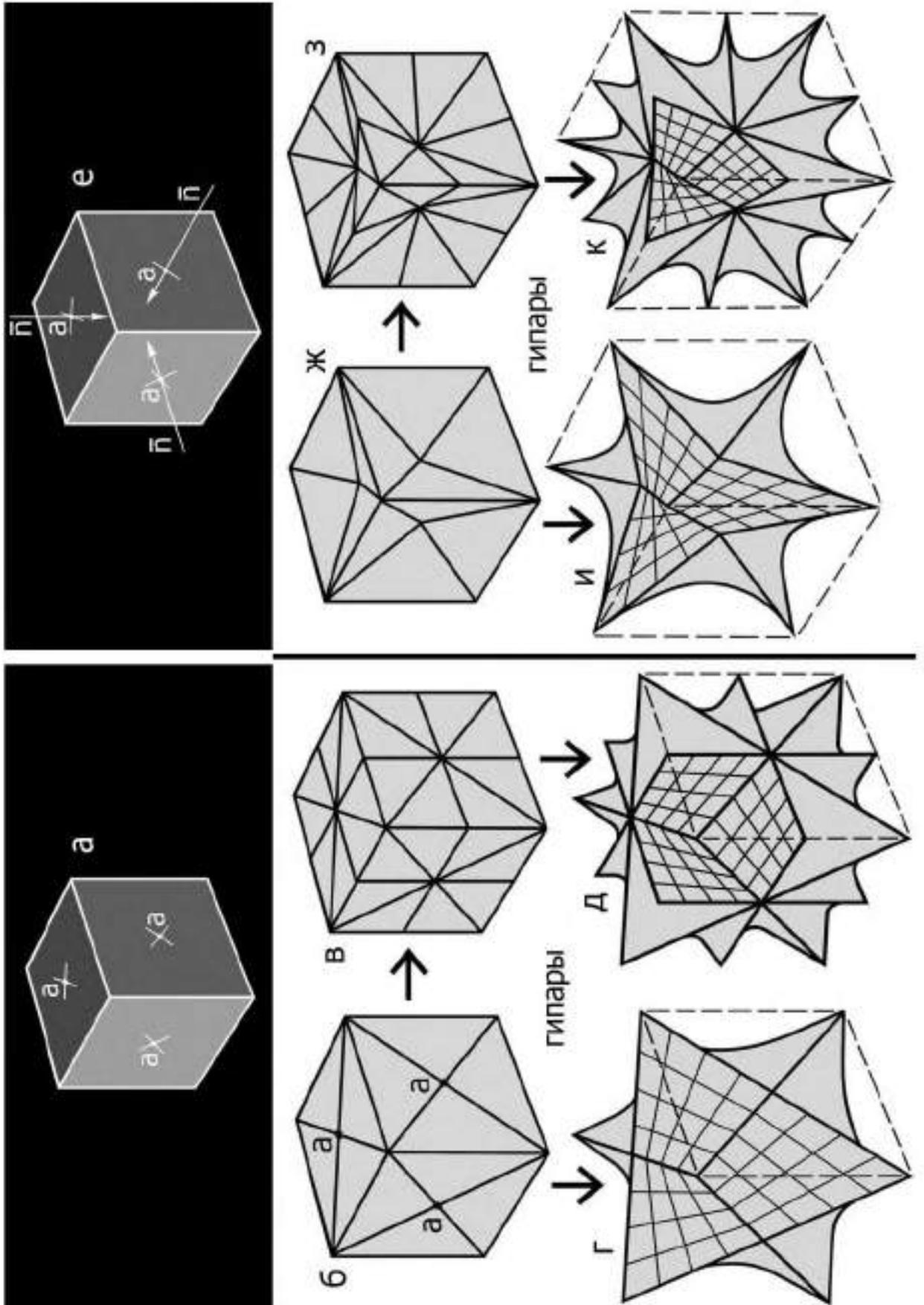
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 57 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие формы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Модели квазимногогранников с выступающими или западающими внутрь поверхности вершинами. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



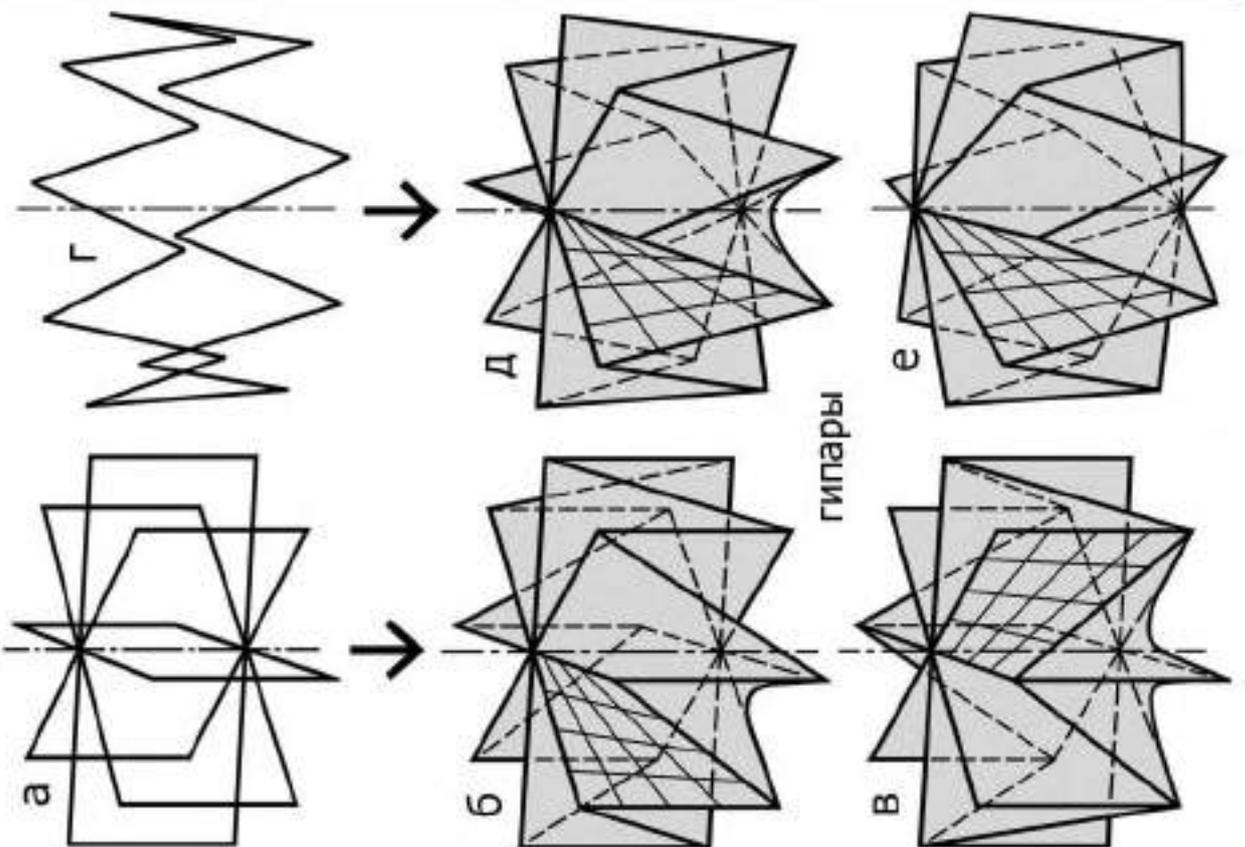
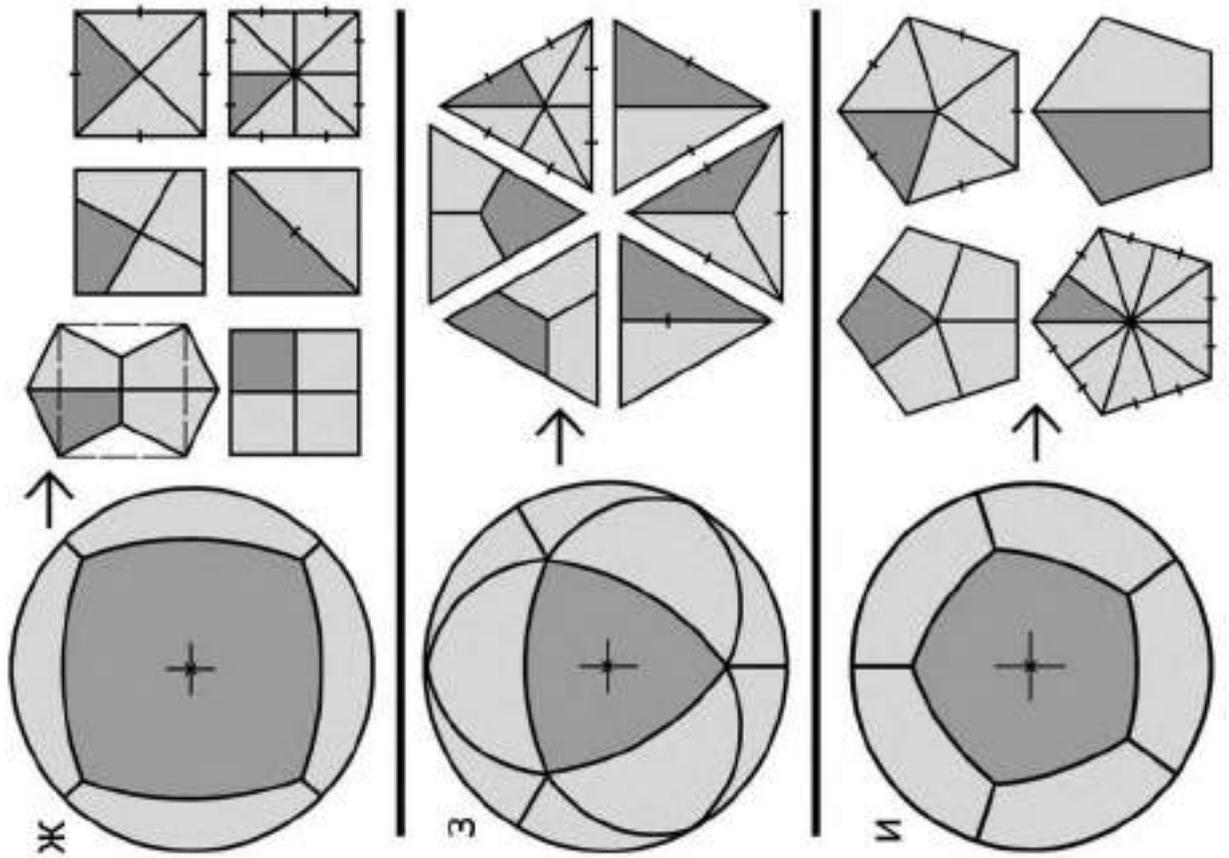
# линейчатые квазиногогранные структуры

Рисунок 58 - Новые алгоритмы формообразования квазиногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие формы центрических квазиногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Модели квазиногогранников с выступающими или западающими внутрь поверхности вершинами. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



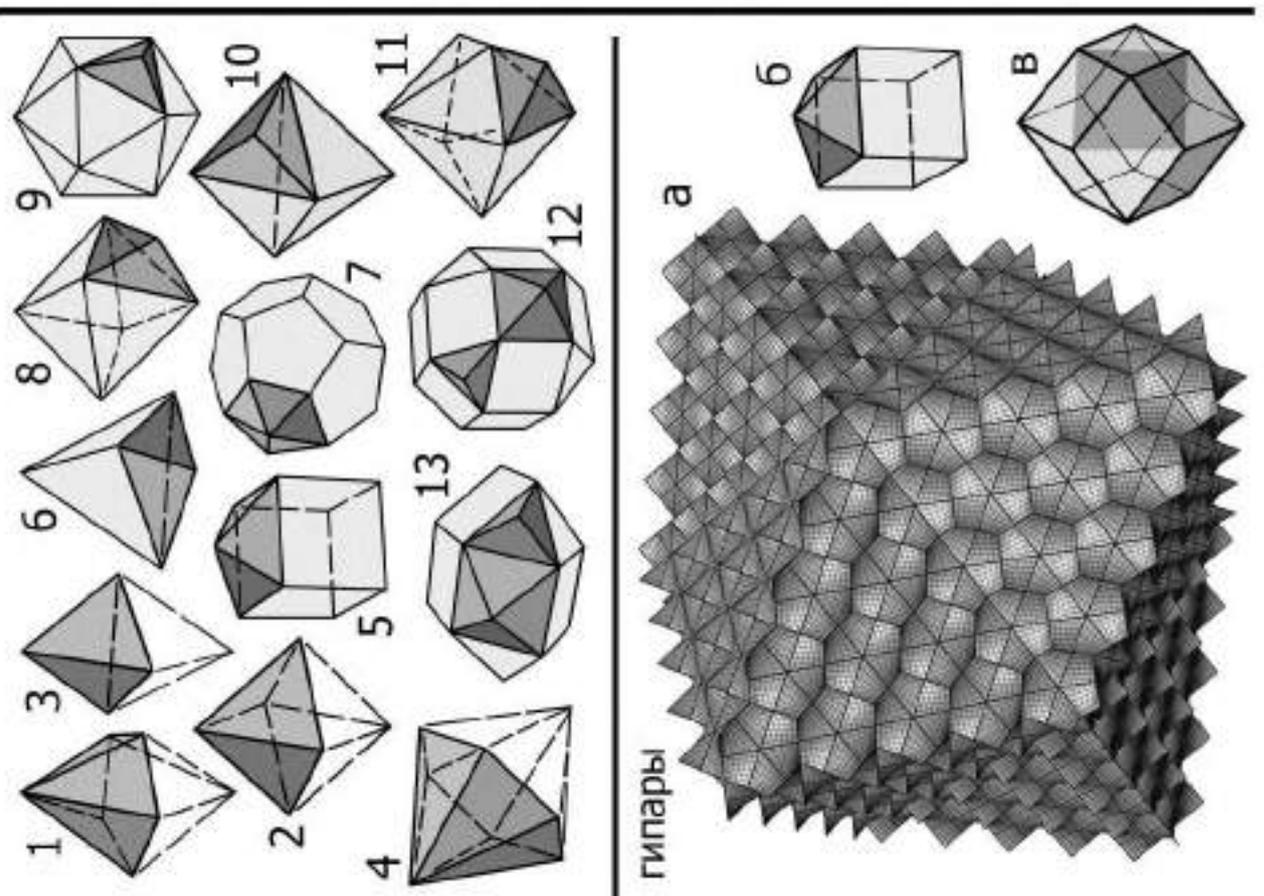
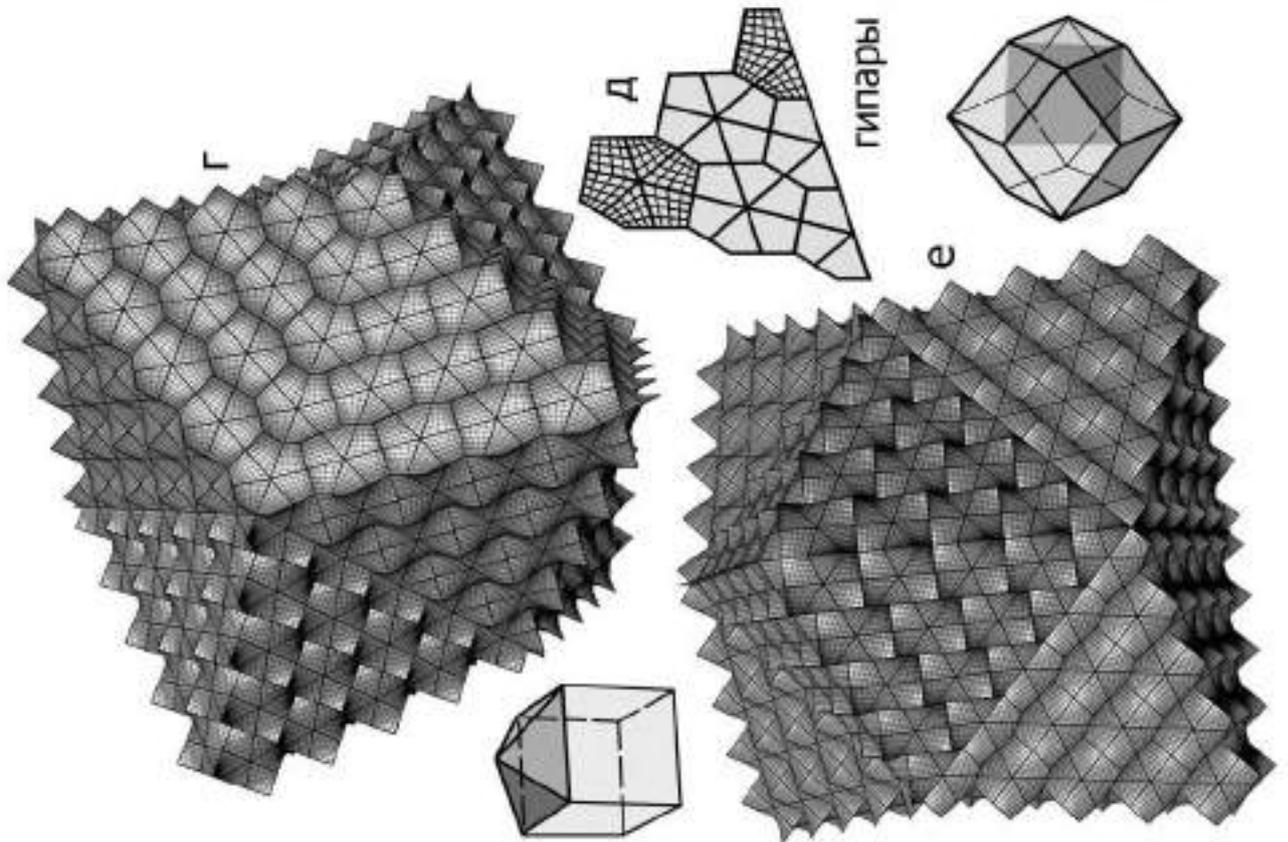
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 59 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие формы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Схема образования квазимногогранников на основе изодральных сферических разбиений. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



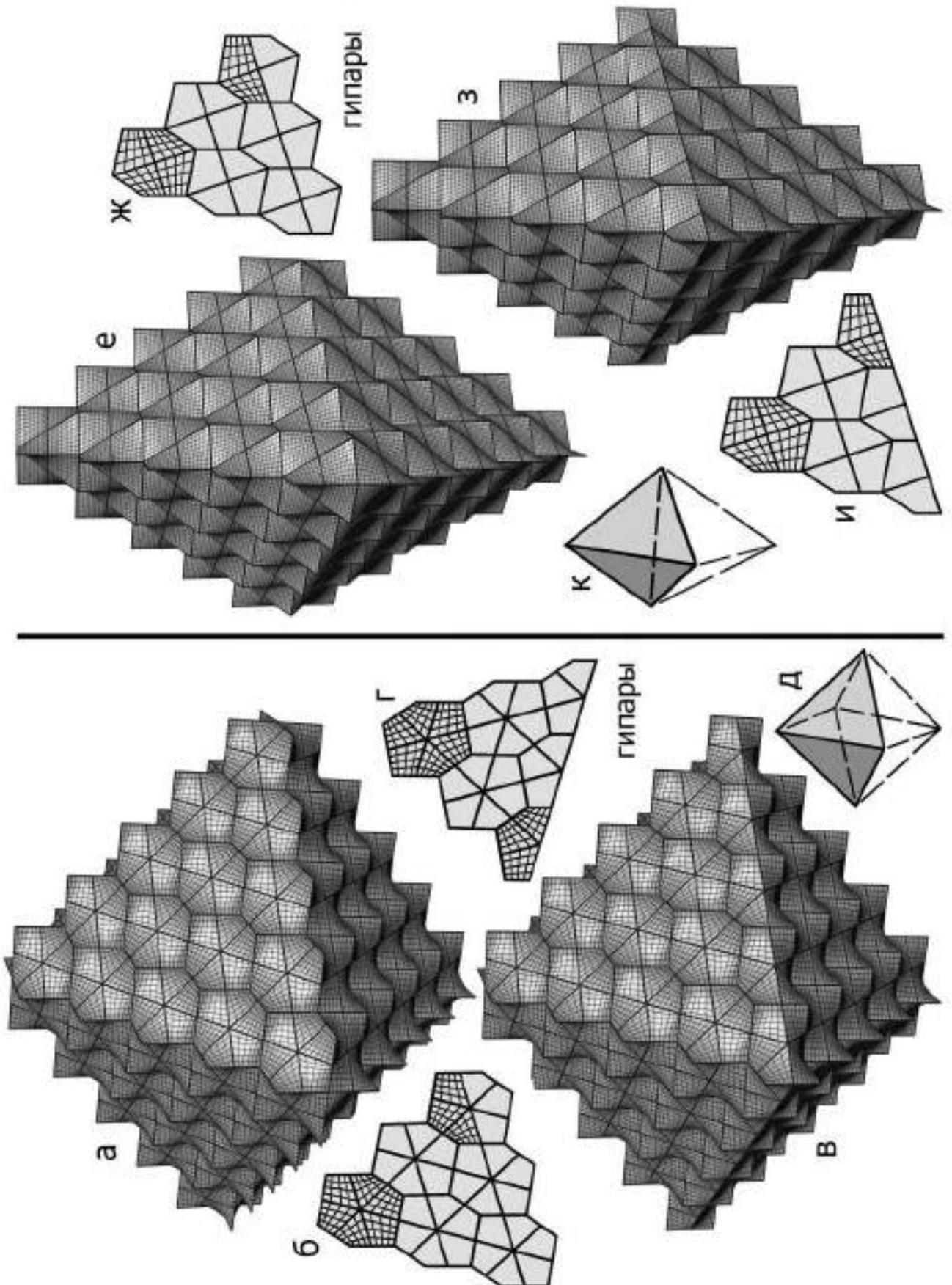
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 60 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центральных квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Компонировочные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



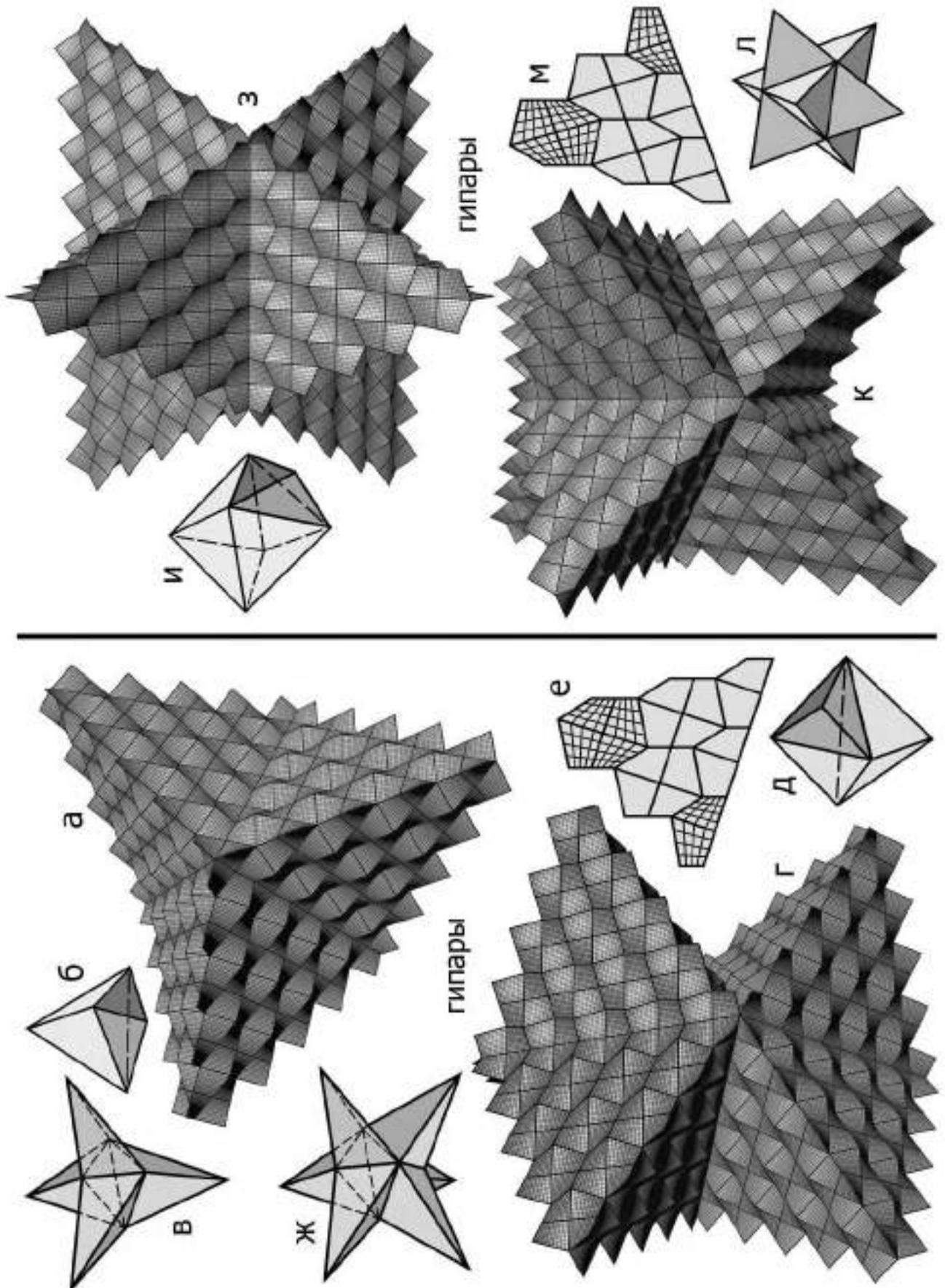
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 61 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центральных квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Компонентные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



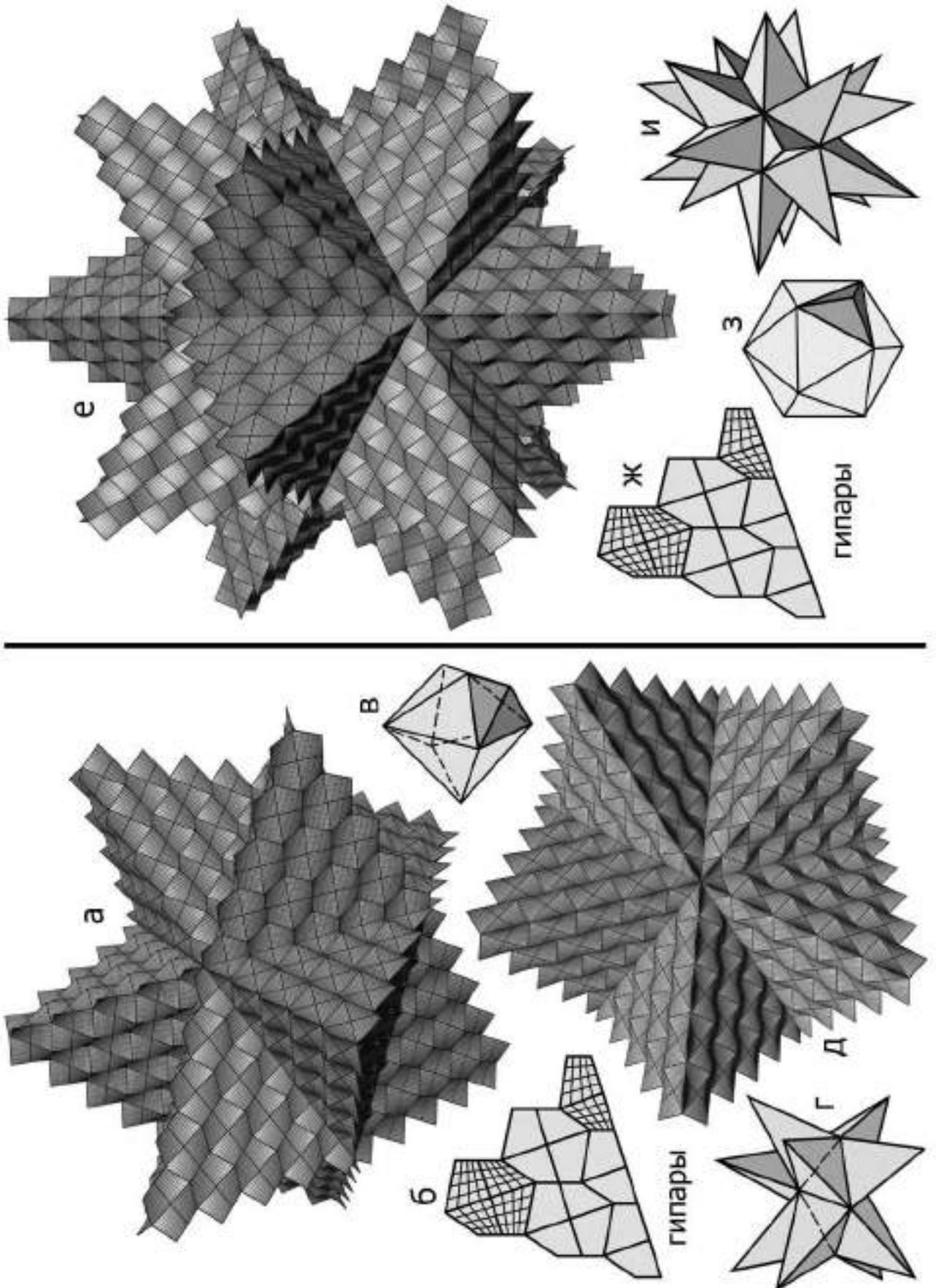
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 62 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Компонентные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



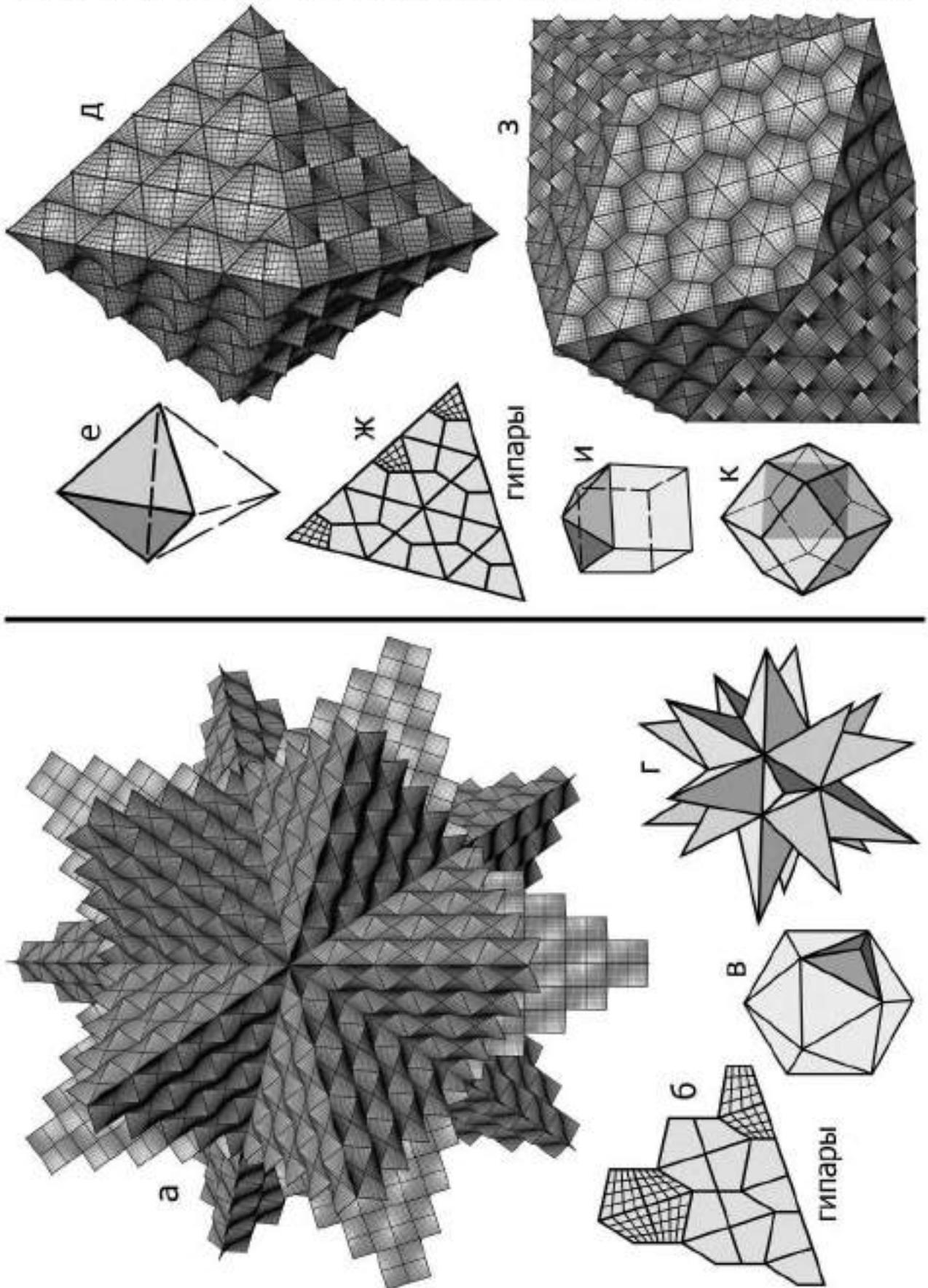
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 63 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центральных квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Компонентные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



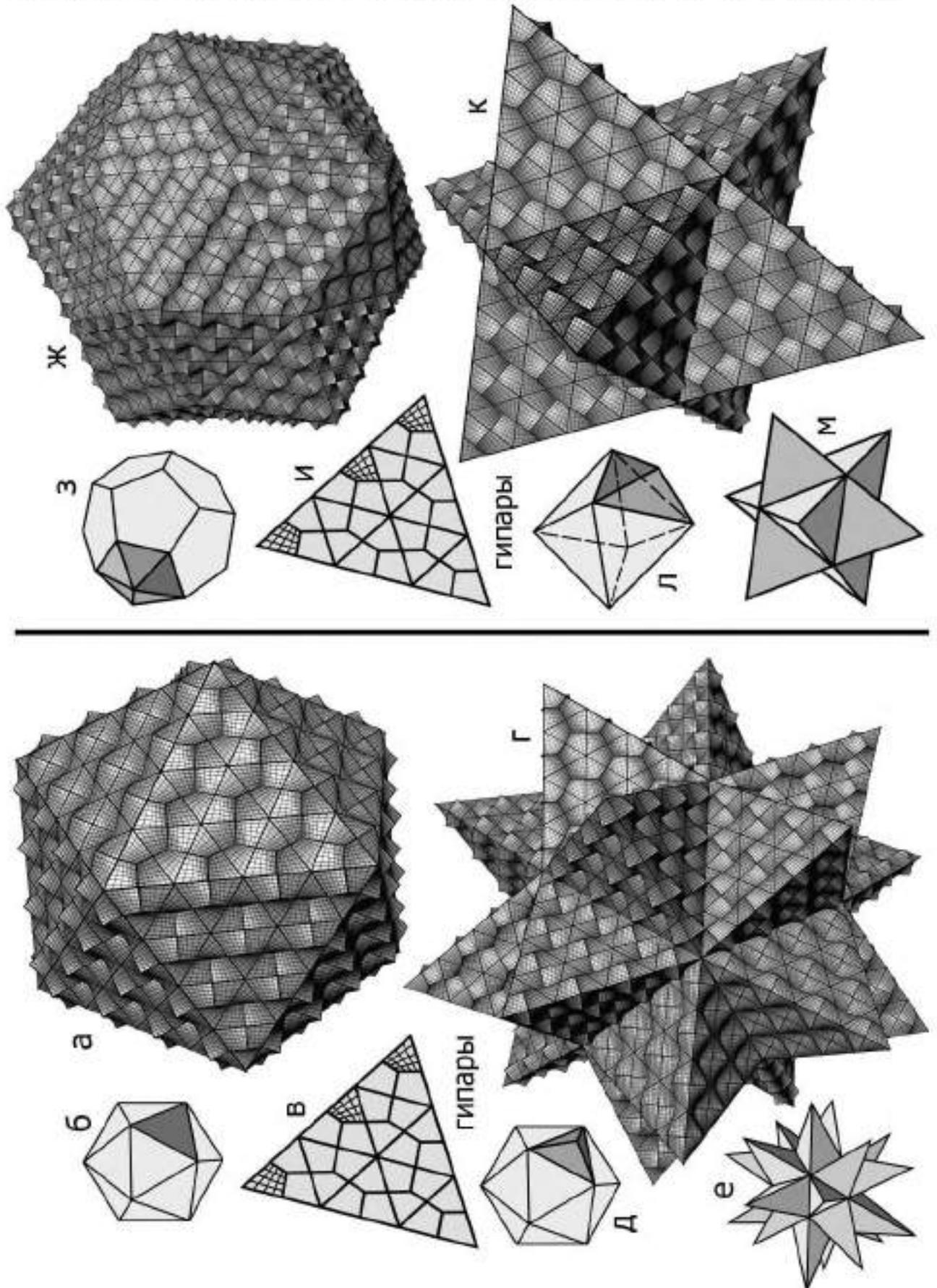
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 64 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центральных квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Компонентные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



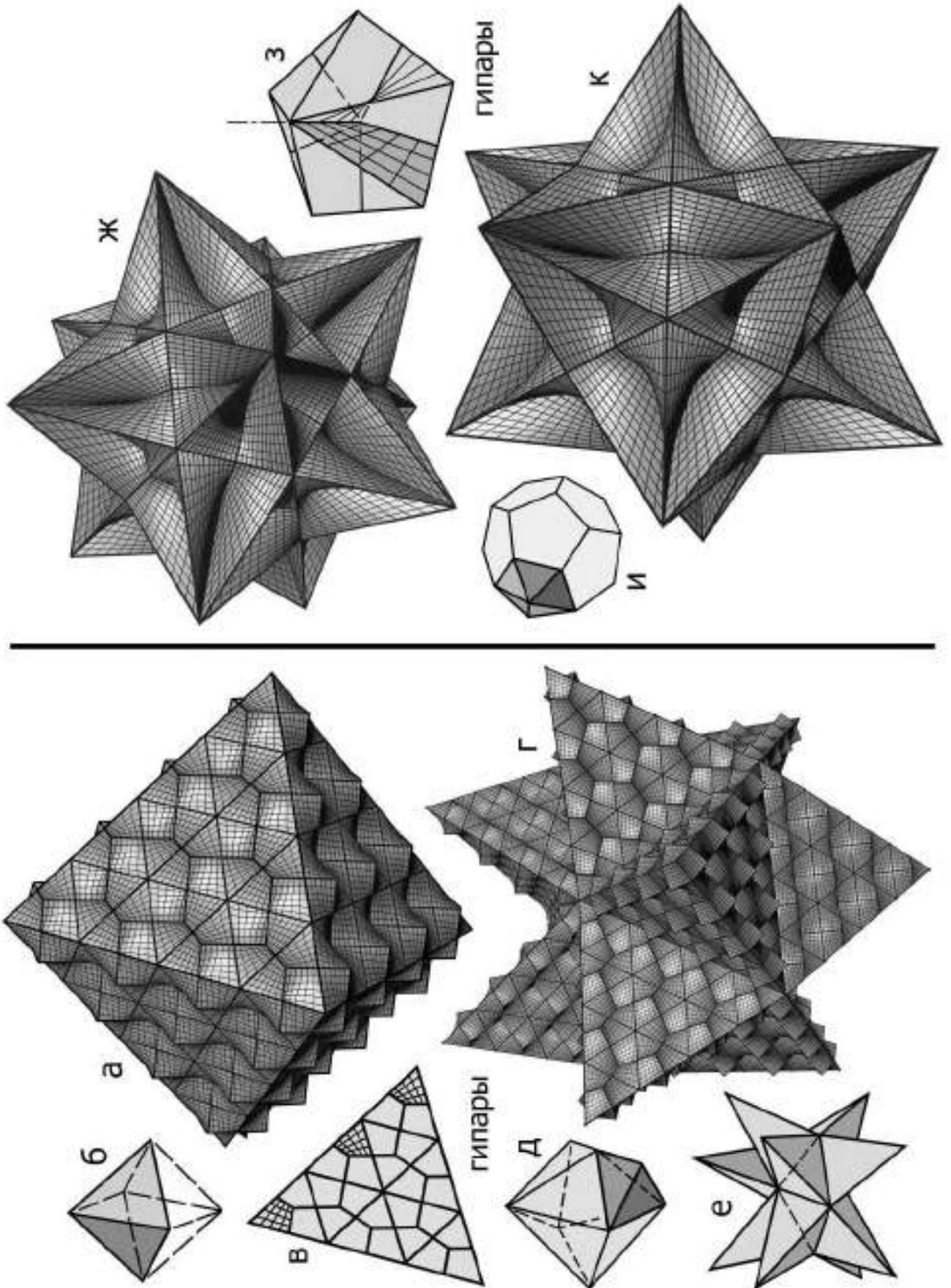
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 65 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида. Компонентные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



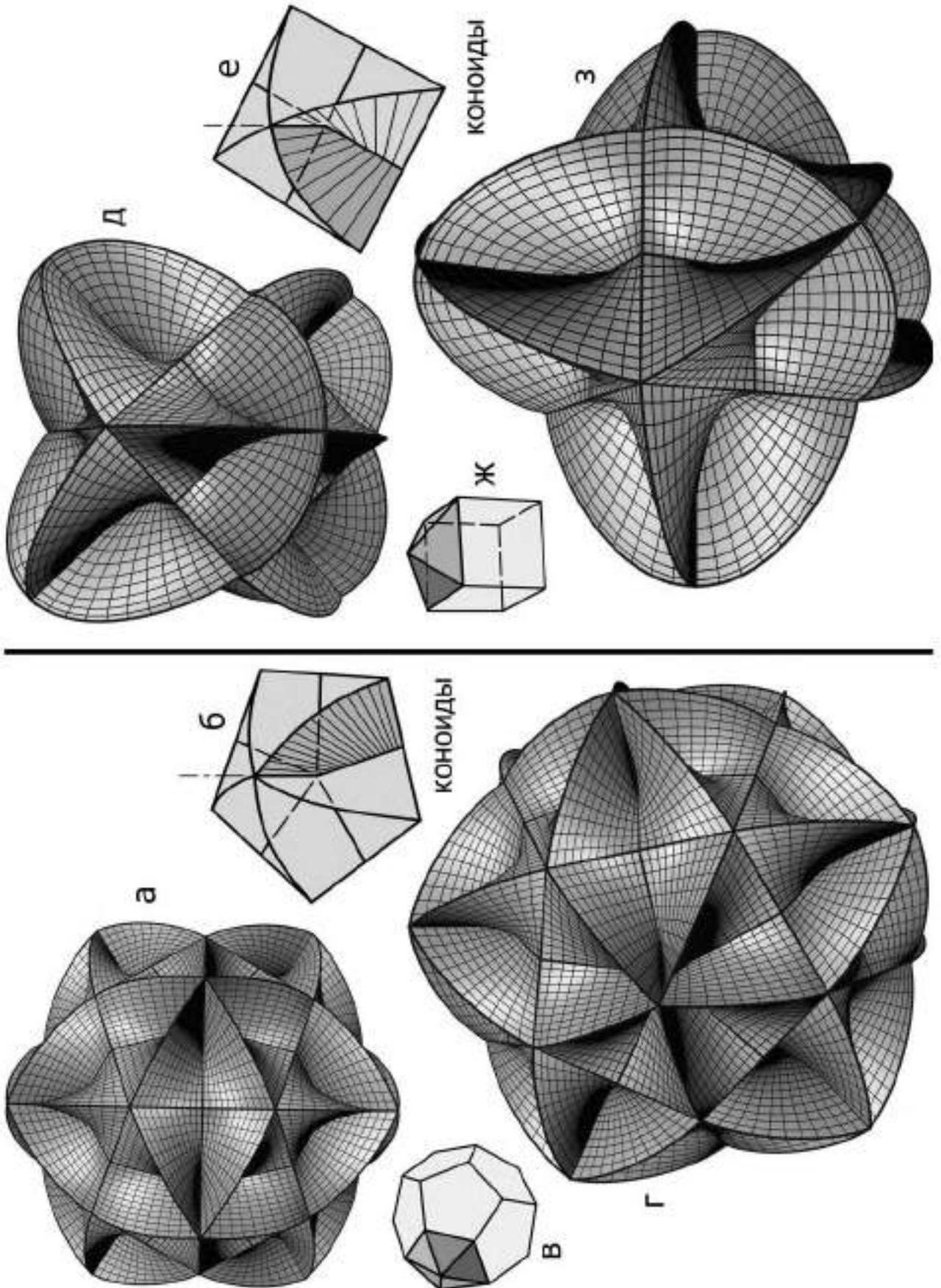
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 66 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центральных квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида и коноида. Схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



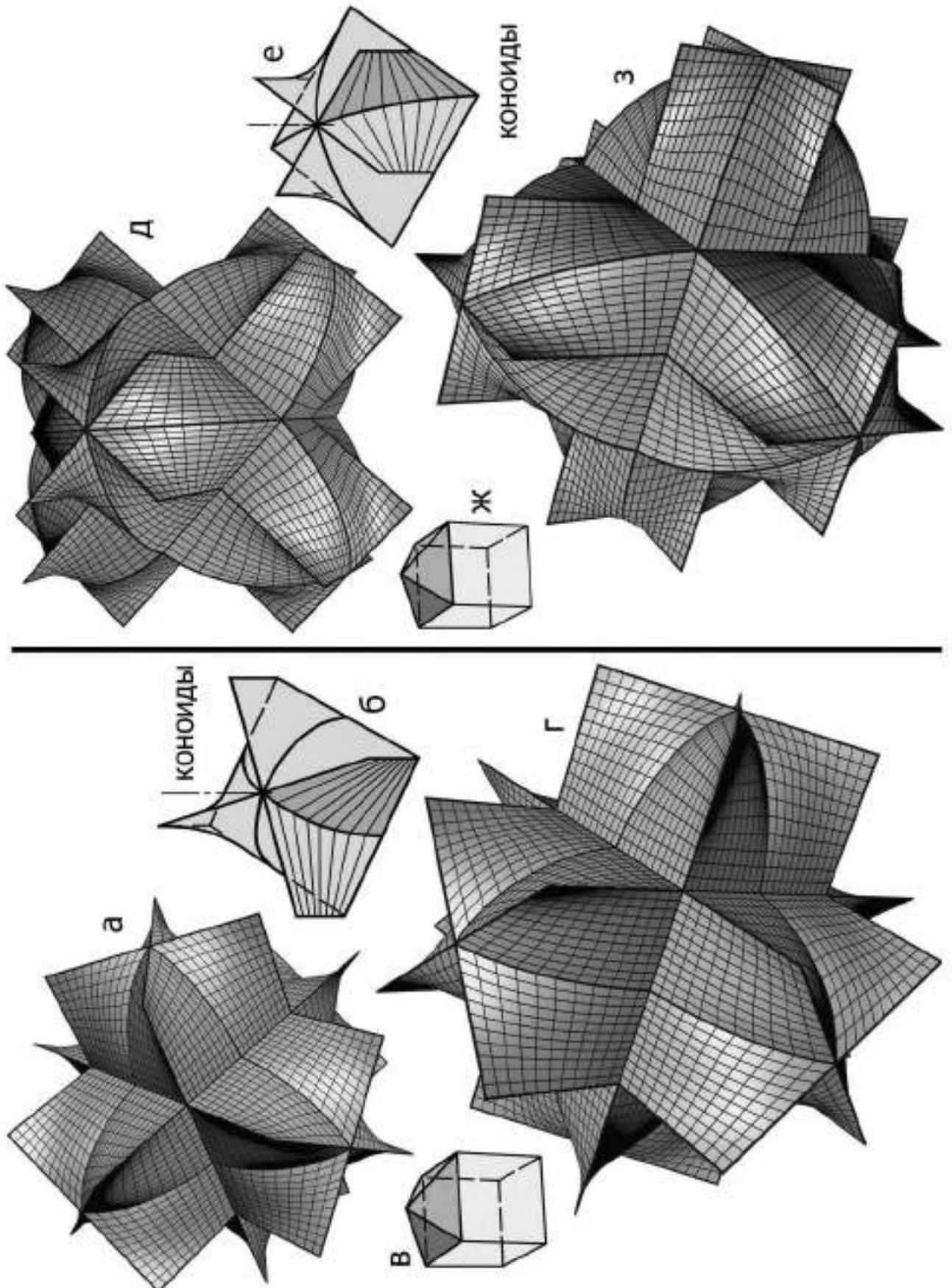
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 67 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центральных квазимногогранников, составленных из оболочек формы гиперболического параболоида и коноида. Схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



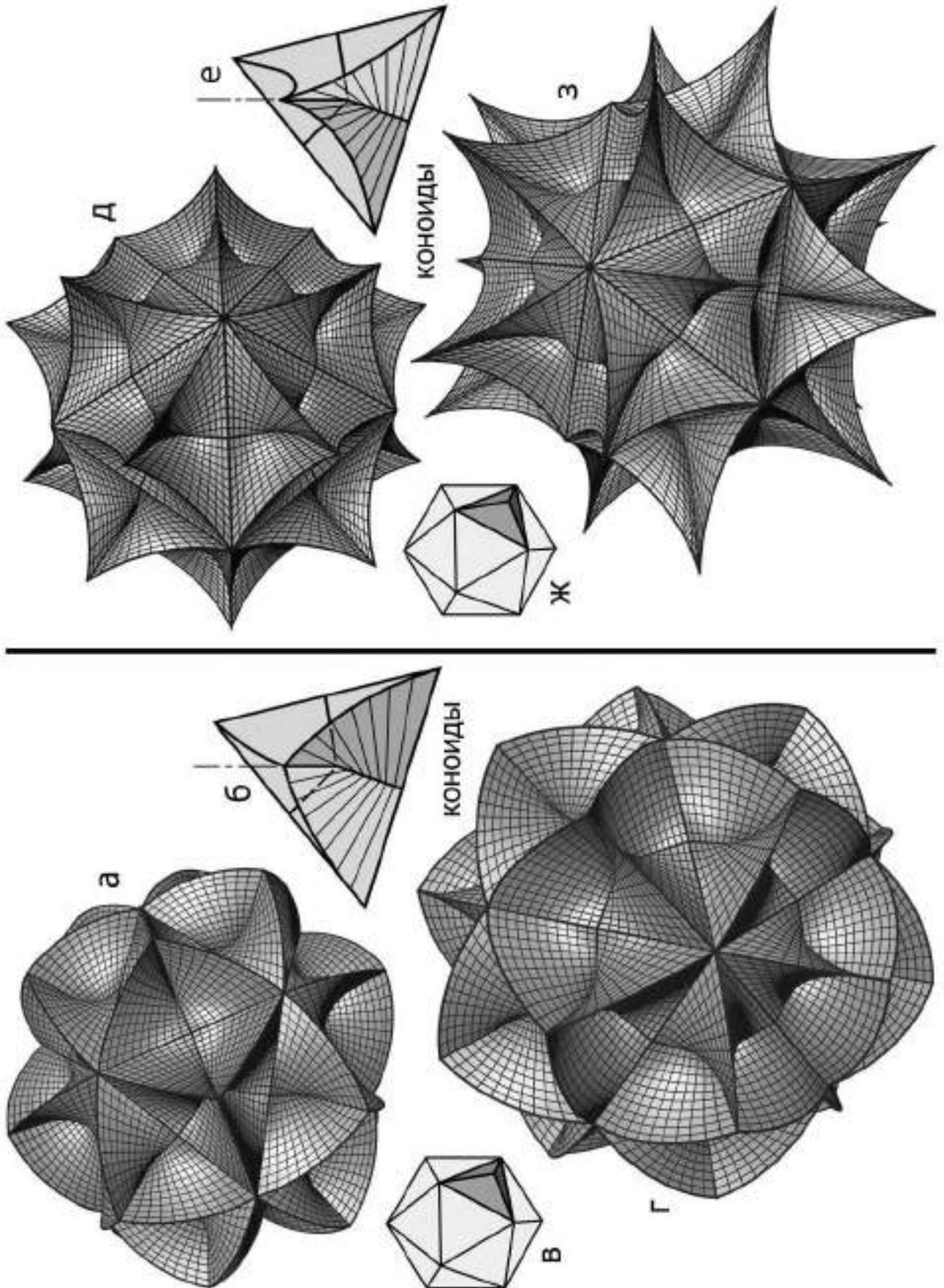
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 68 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы коноида. Компоночные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



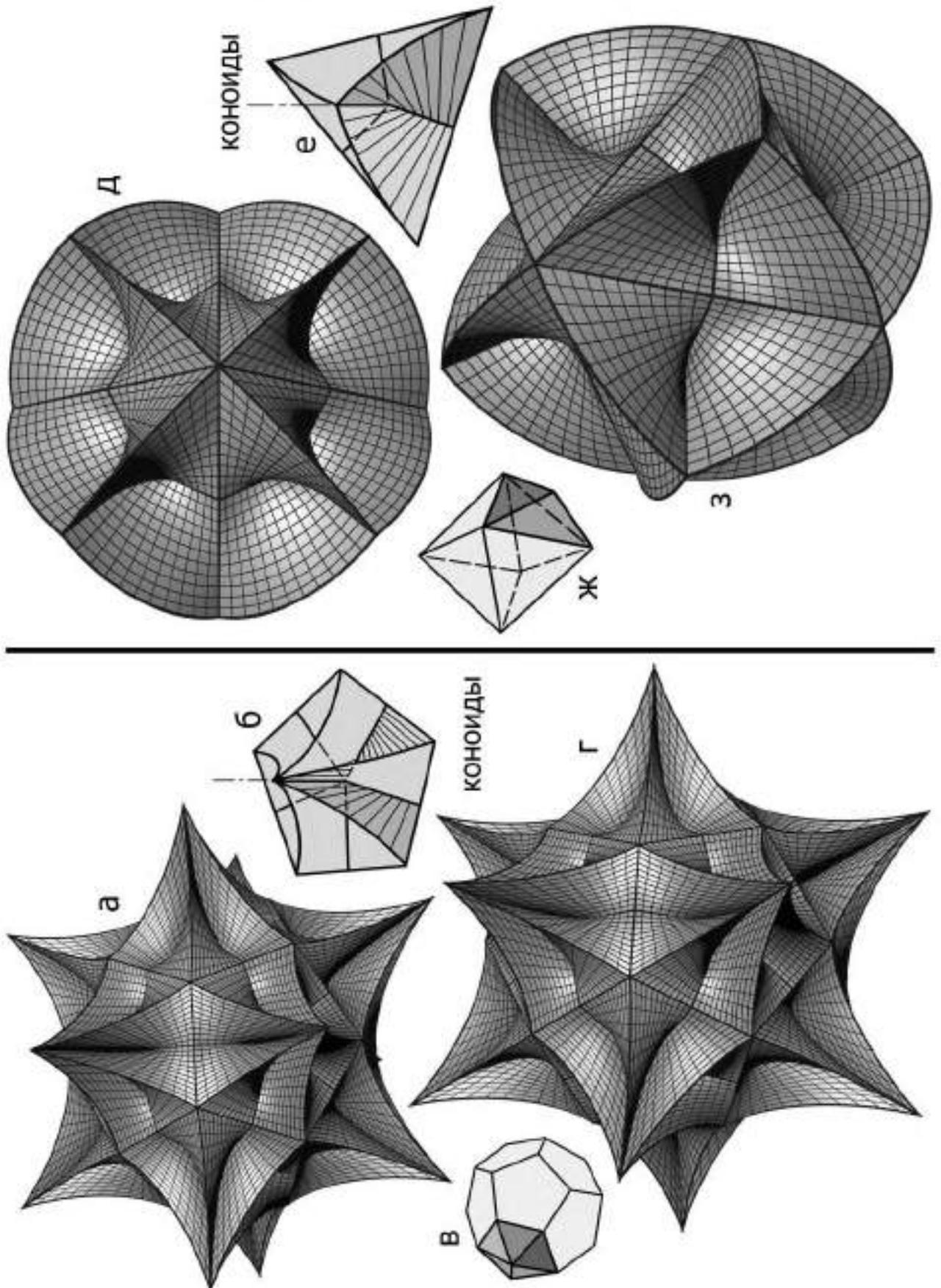
# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 69 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы коноида. Комбинированные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 70 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы коноида. Компонвочные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.



# линейчатые квазимногогранные структуры

Рисунок 71 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы коноида. Компонентные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.

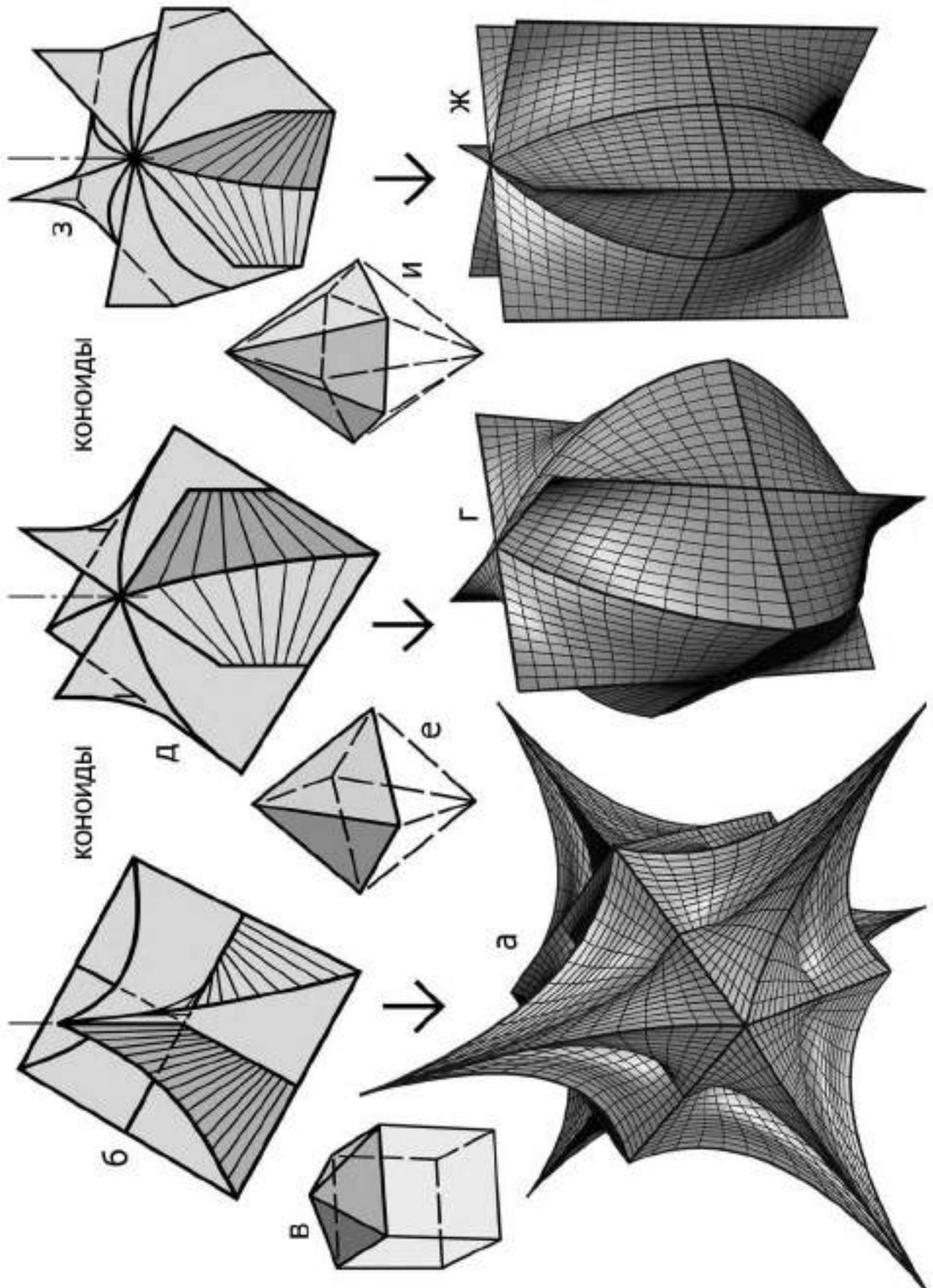


Рисунок 72 - Новые алгоритмы формообразования квазимногогранных структур с линейчатой поверхностью и результирующие типы центрических квазимногогранников, составленных из оболочек формы коноида. Компоночные схемы образования составных квазимногогранников из пирамидообразных и куполообразных модулей. Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков Коротич А.В.

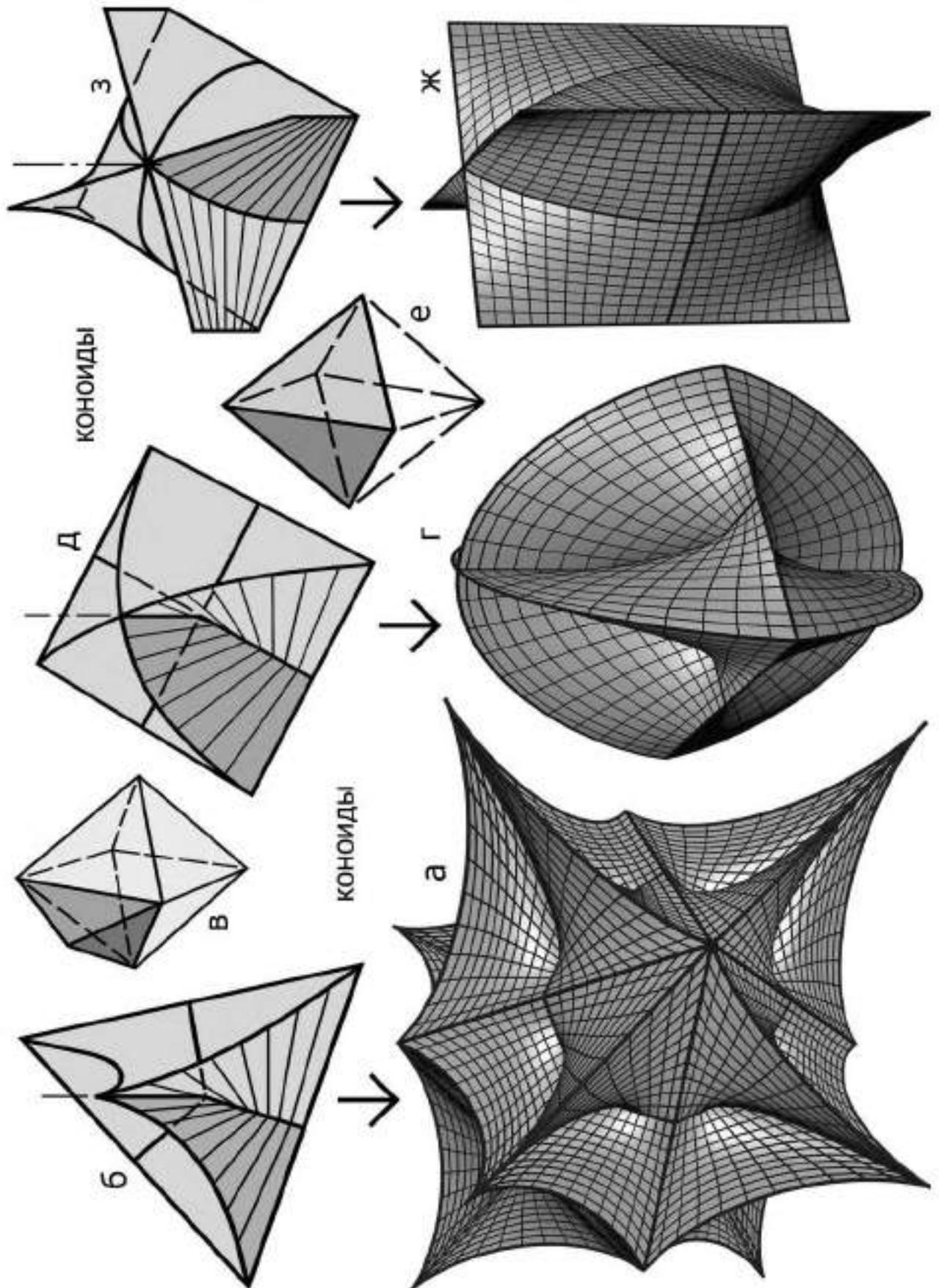


Рисунок 73 - Общие алгоритмы создания новых типов изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равноэлементных многогранников (на рисунке - сферическая проекция додекаэдра). Разбиения паркетуются выпуклыми, невыпуклыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими (в т.ч. геодезическими) кривыми.

Звездчатый пятилучевой сферический отсек (б) исходной изоэдральной разбивки (а) превращен в плоскогранную обратную пирамиду с вершиной внутри сферы (в данном случае вершина совмещена с центром сферы  $O$ ); при этом пирамида является частью сотовой структуры производного многогранника (в).

Однако этот же сферический отсек может быть превращен в плоскогранную прямую пирамиду (г), вершина которой расположена снаружи от сферы на нормали, проведенной из центра  $O$  сферы через центр пятилучевого сферического отсека.

Автор алгоритмов, разработанных новых моделей и рисунков  
Коротич А.В.

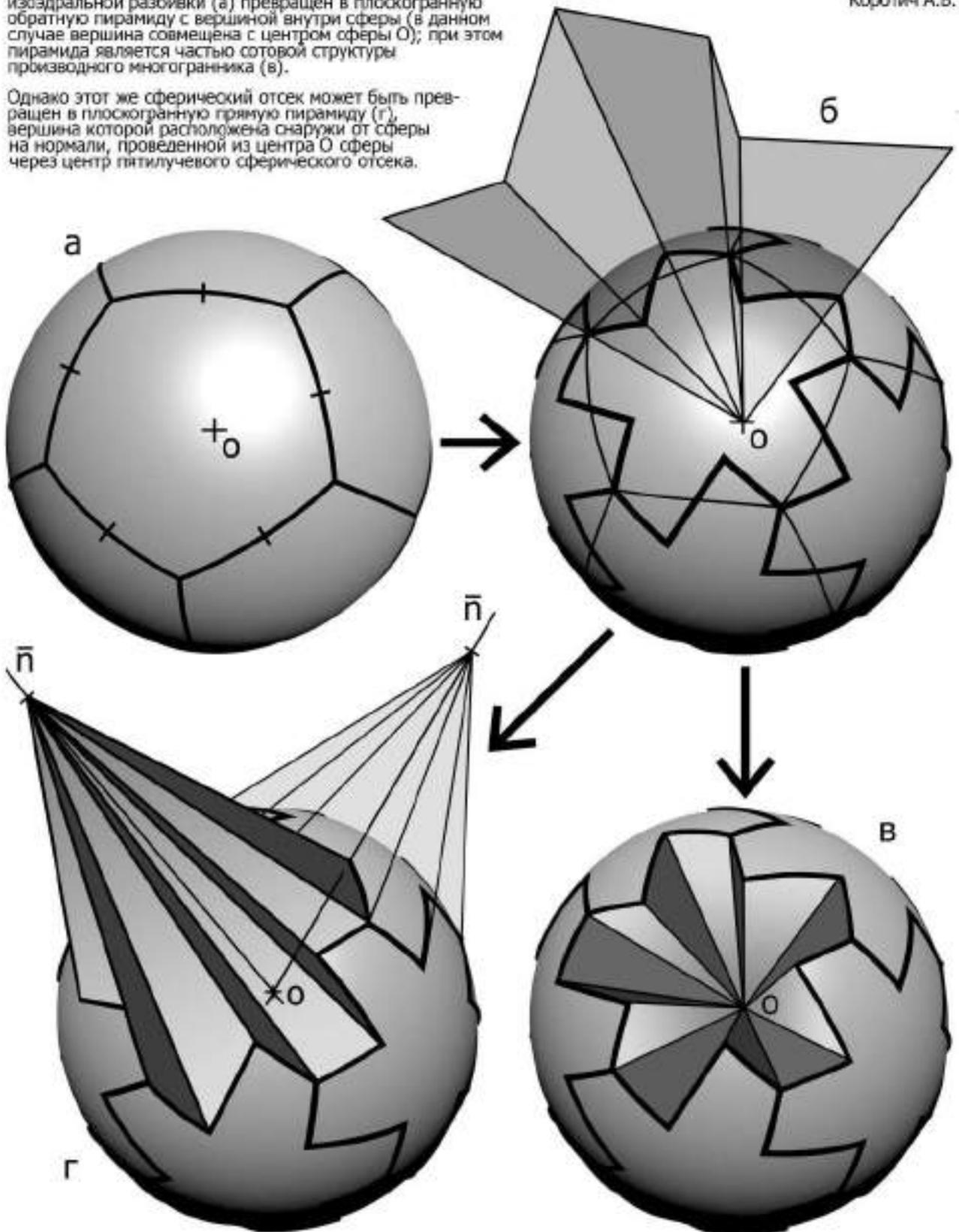


Рисунок 74 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выгнутыми, невыгнутыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

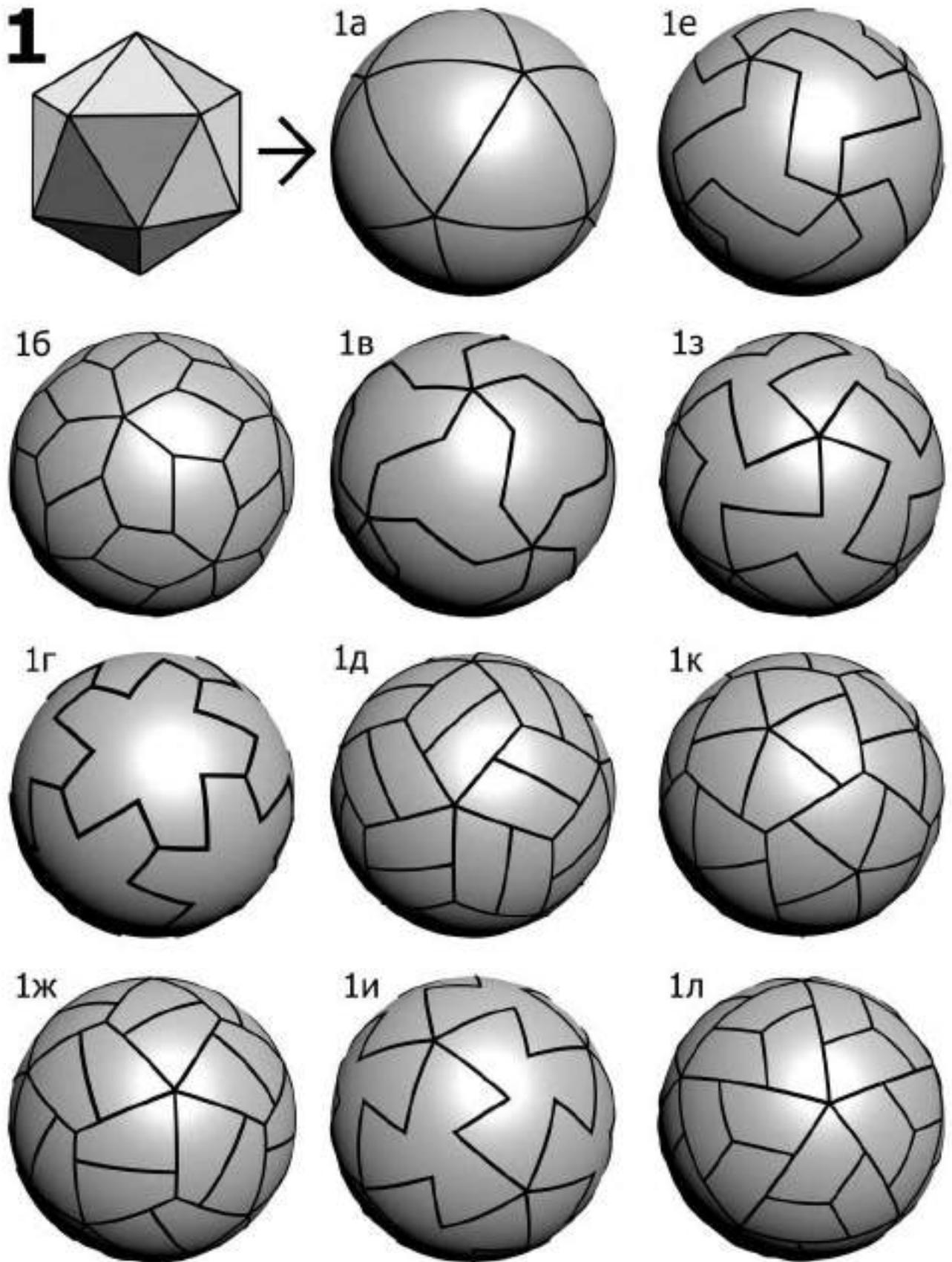


Рисунок 75 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выпуклыми, невыпуклыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

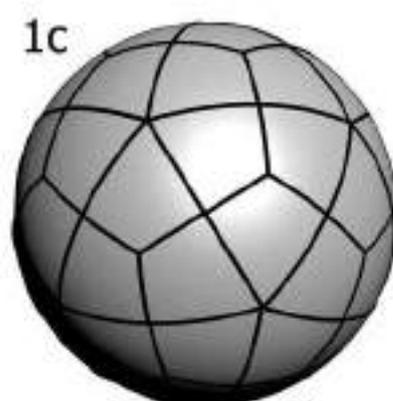
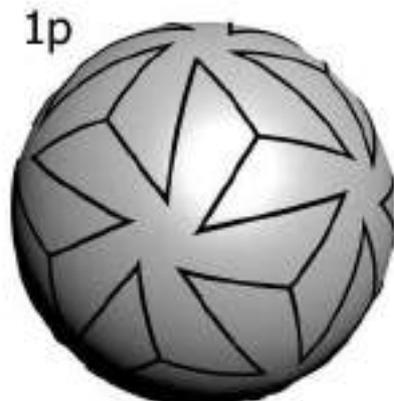
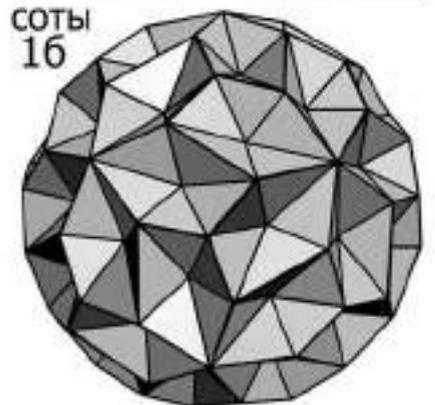
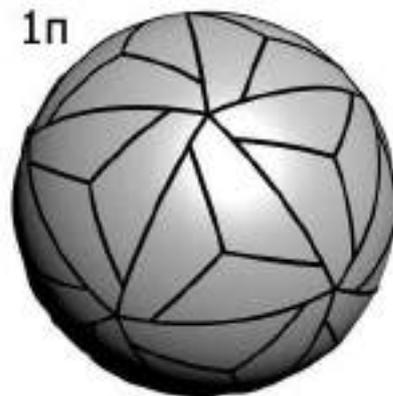


Рисунок 76 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выпуклыми, невыпуклыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

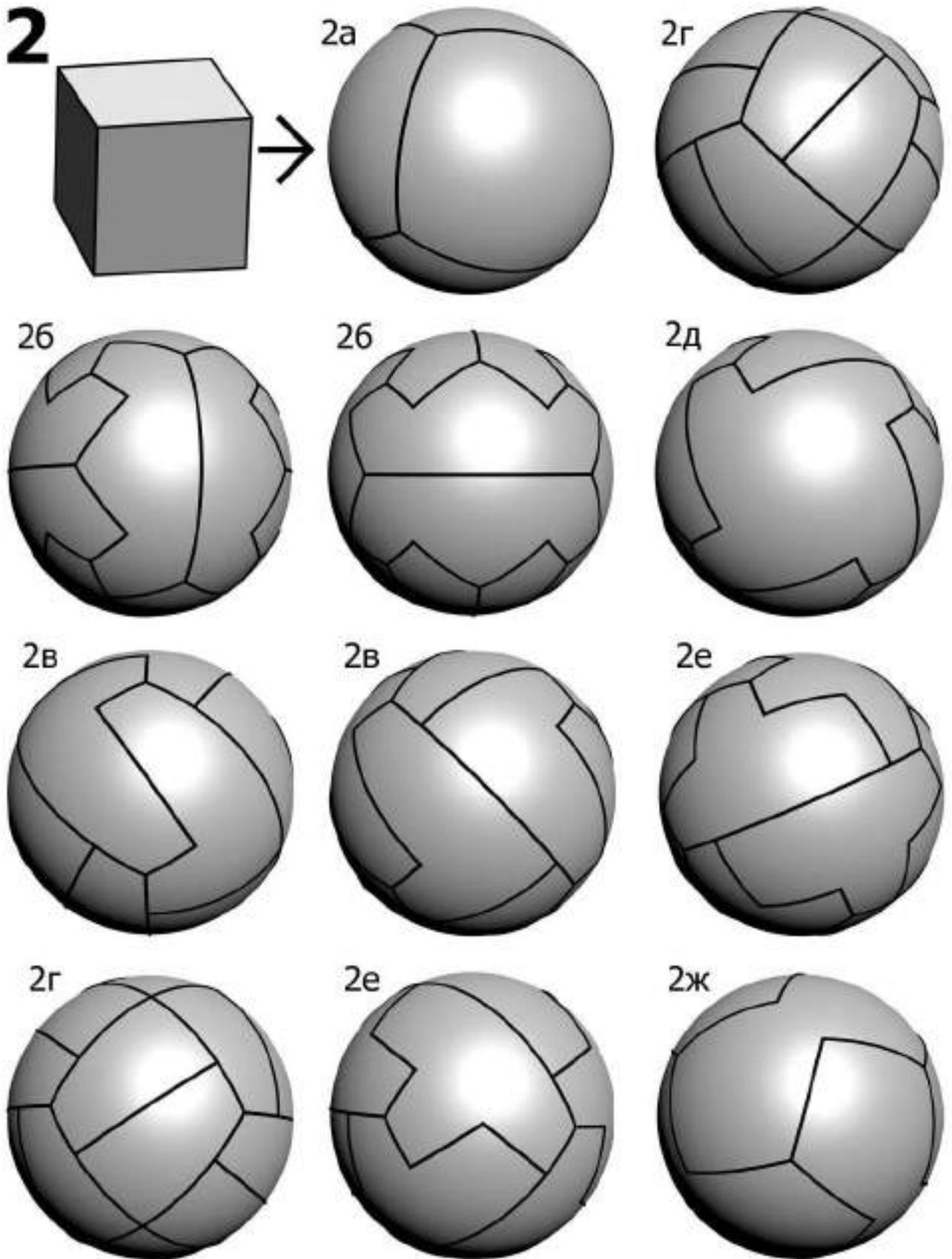


Рисунок 77 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выпуклыми, невыпуклыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

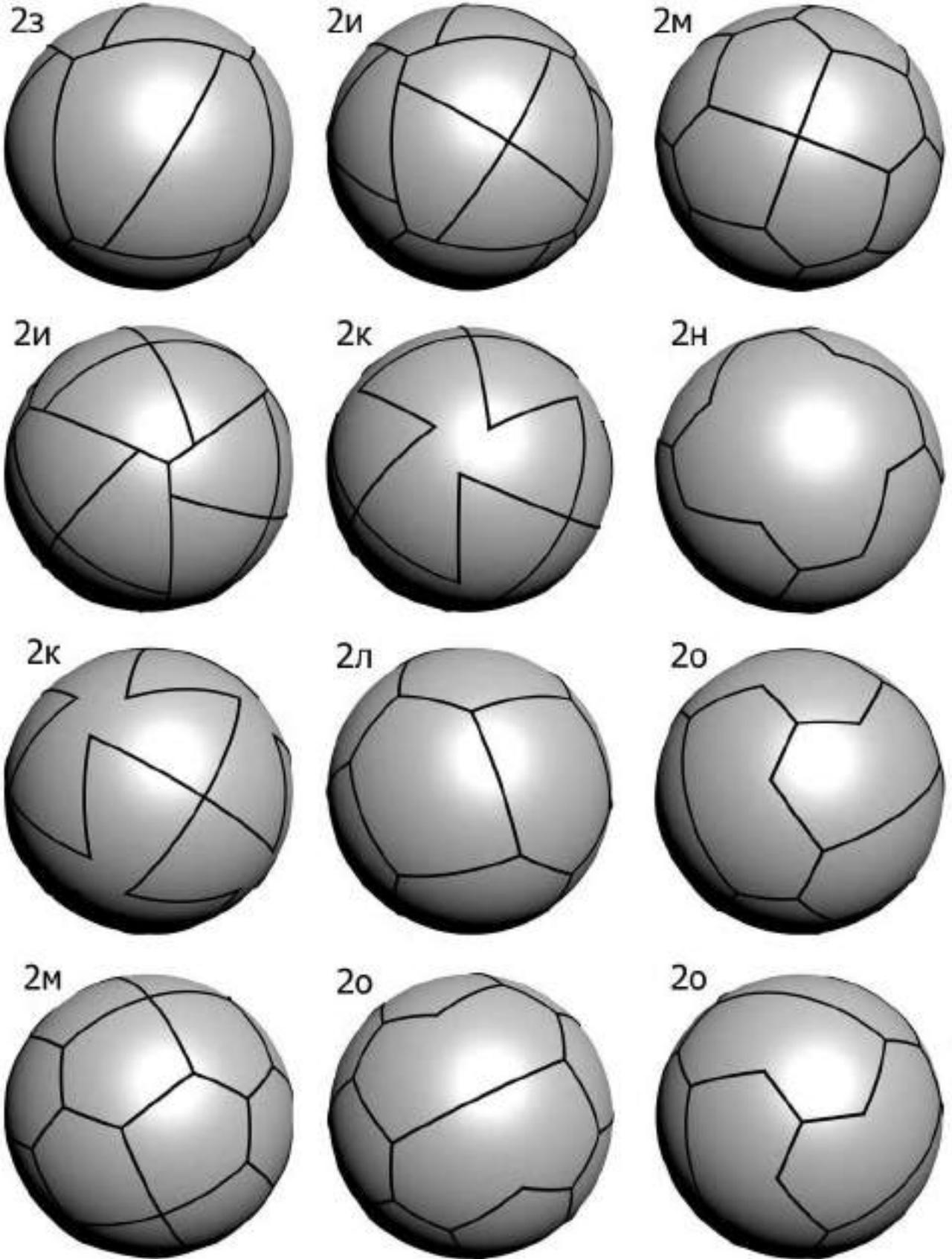


Рисунок 78 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выпуклыми, невыпуклыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

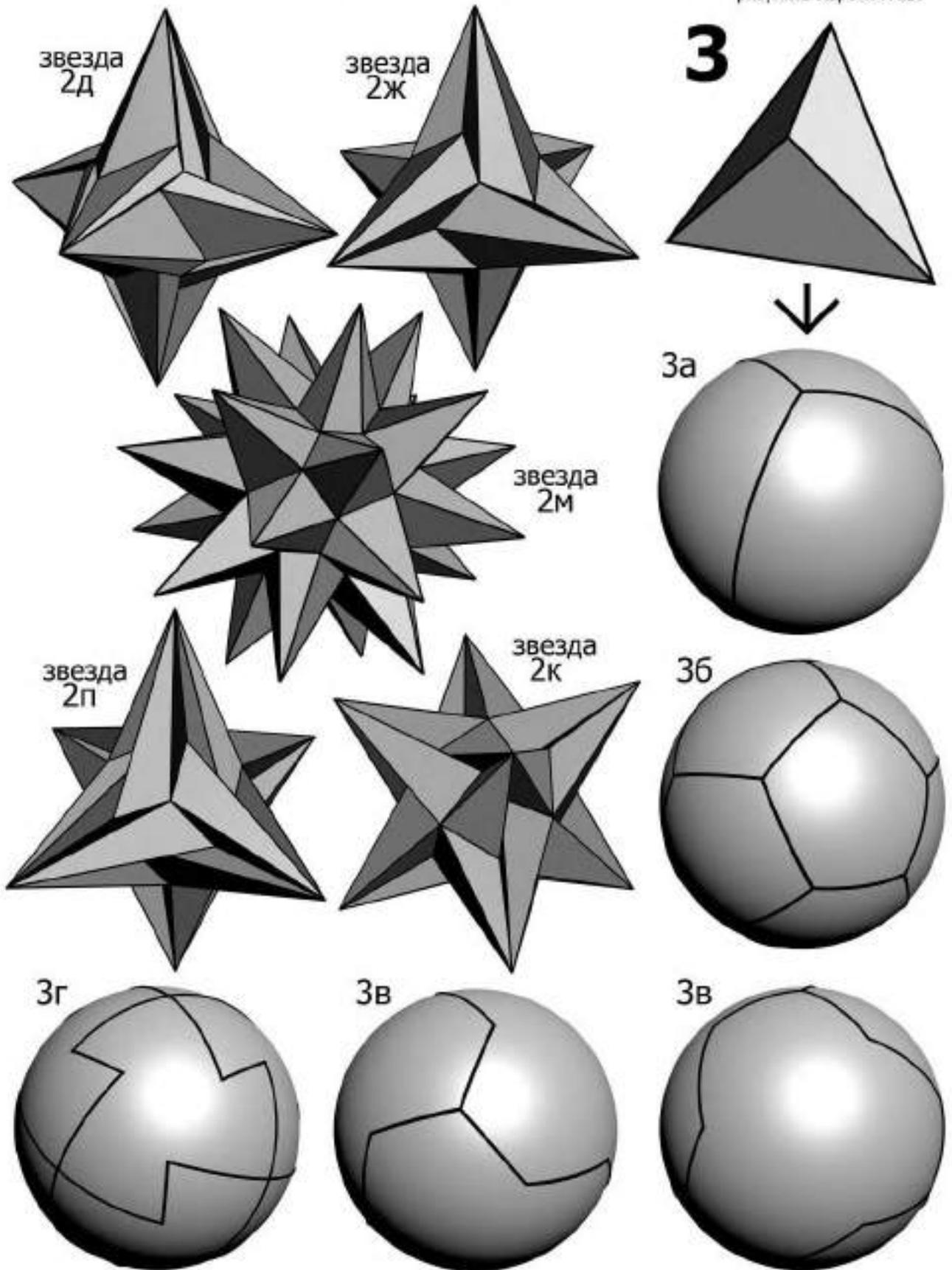


Рисунок 79 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выпуклыми, невыпуклыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

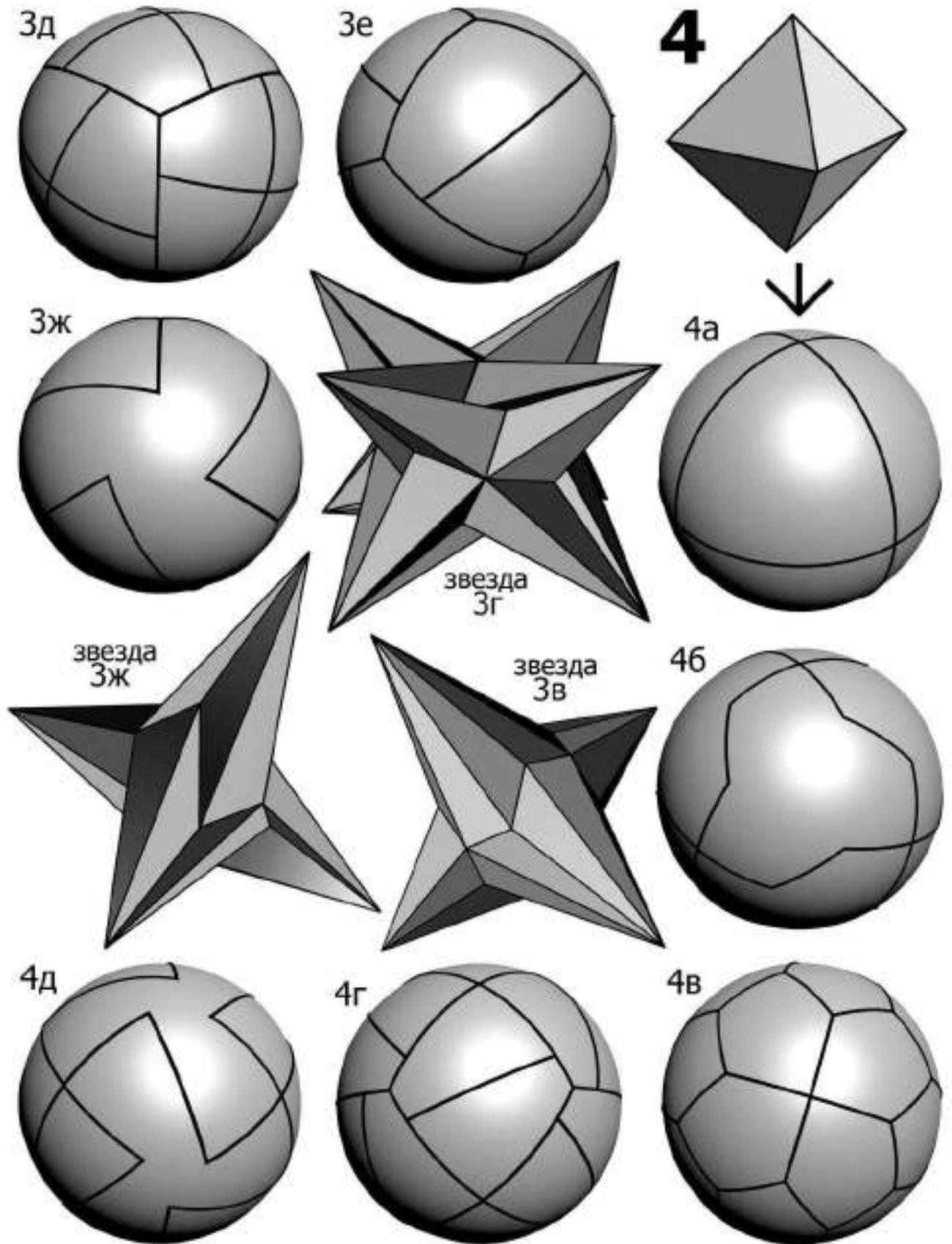


Рисунок 80 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выгнутыми, невыгнутыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

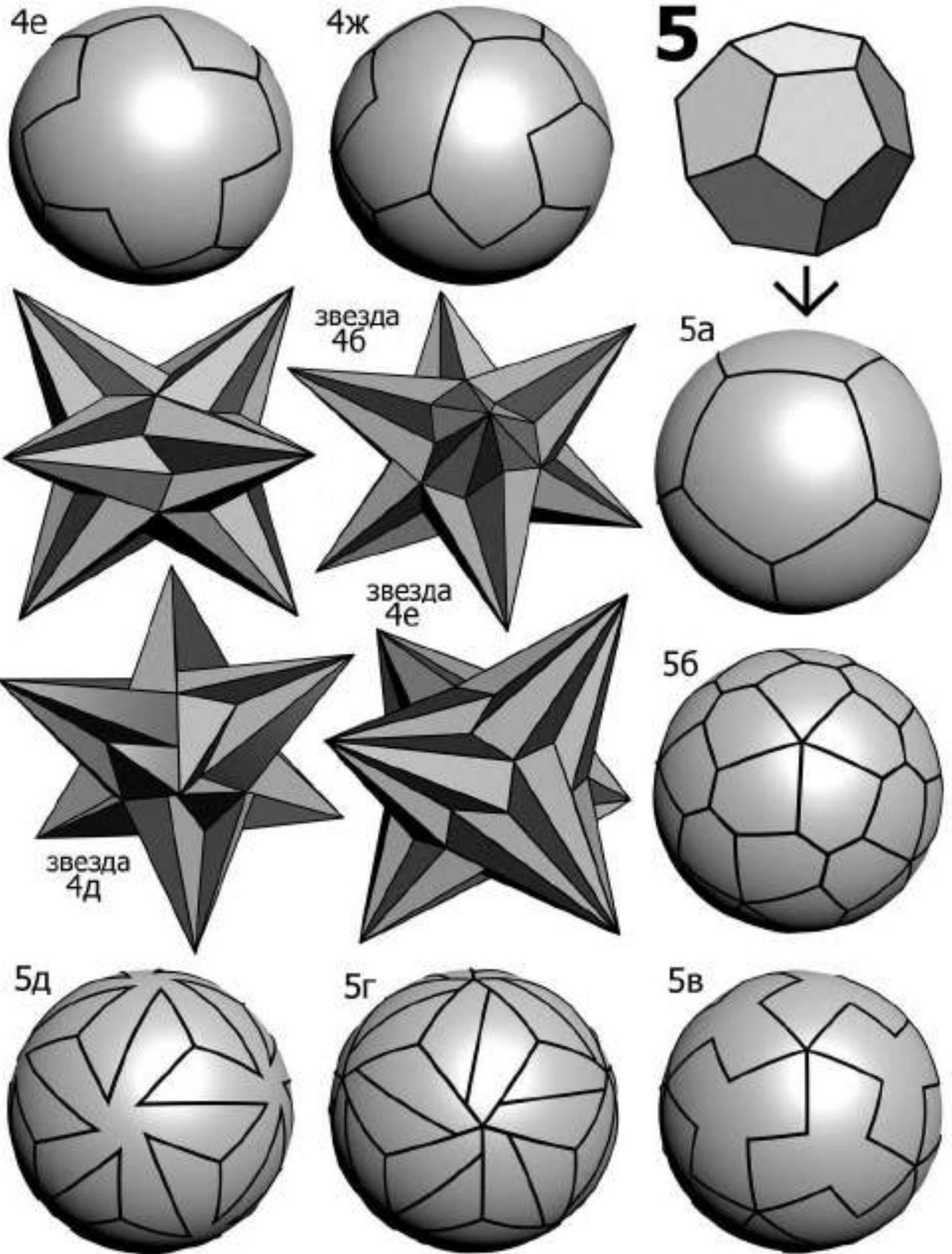


Рисунок 81 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выгнутыми, невыгнутыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

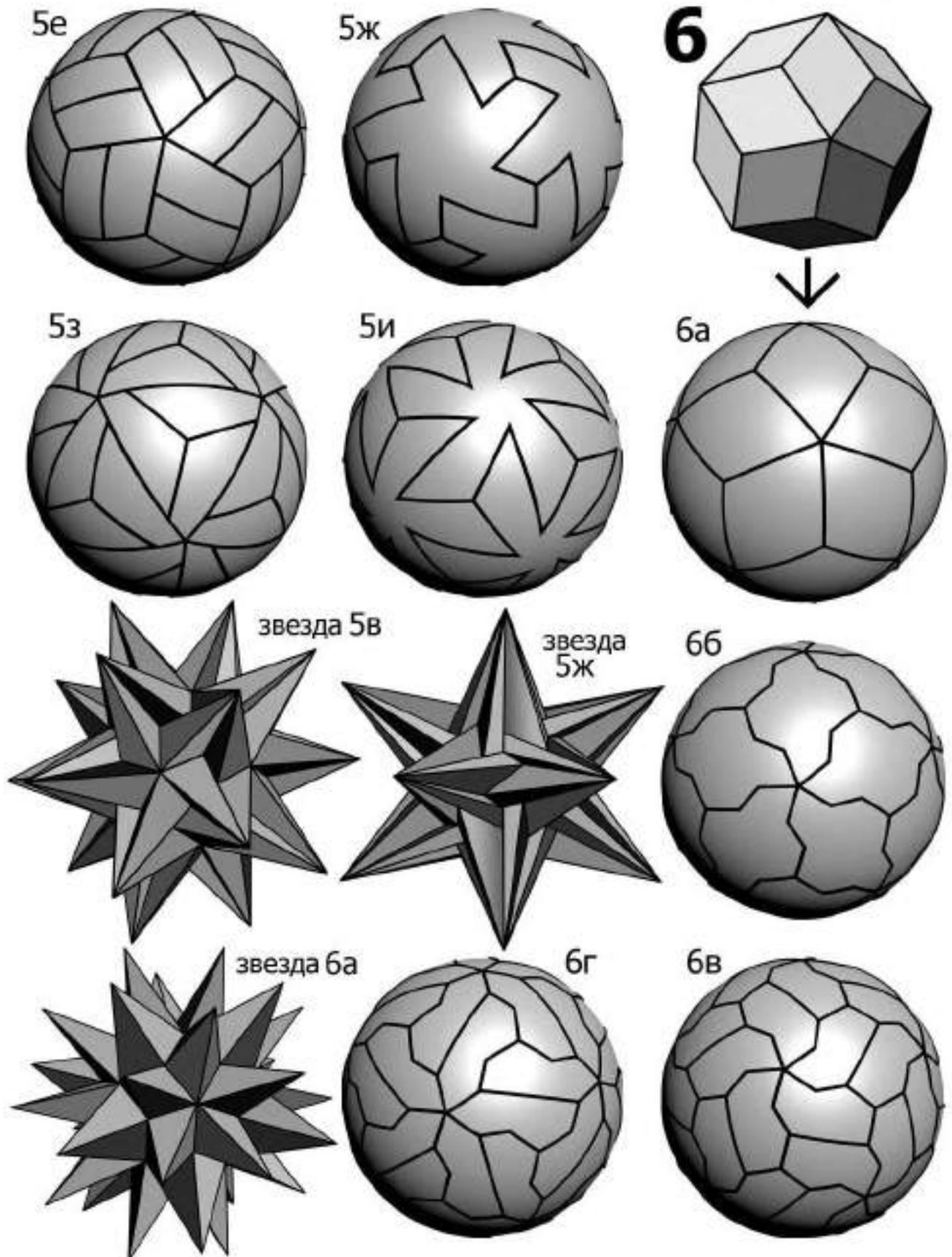


Рисунок 82 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выпуклыми, невыпуклыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

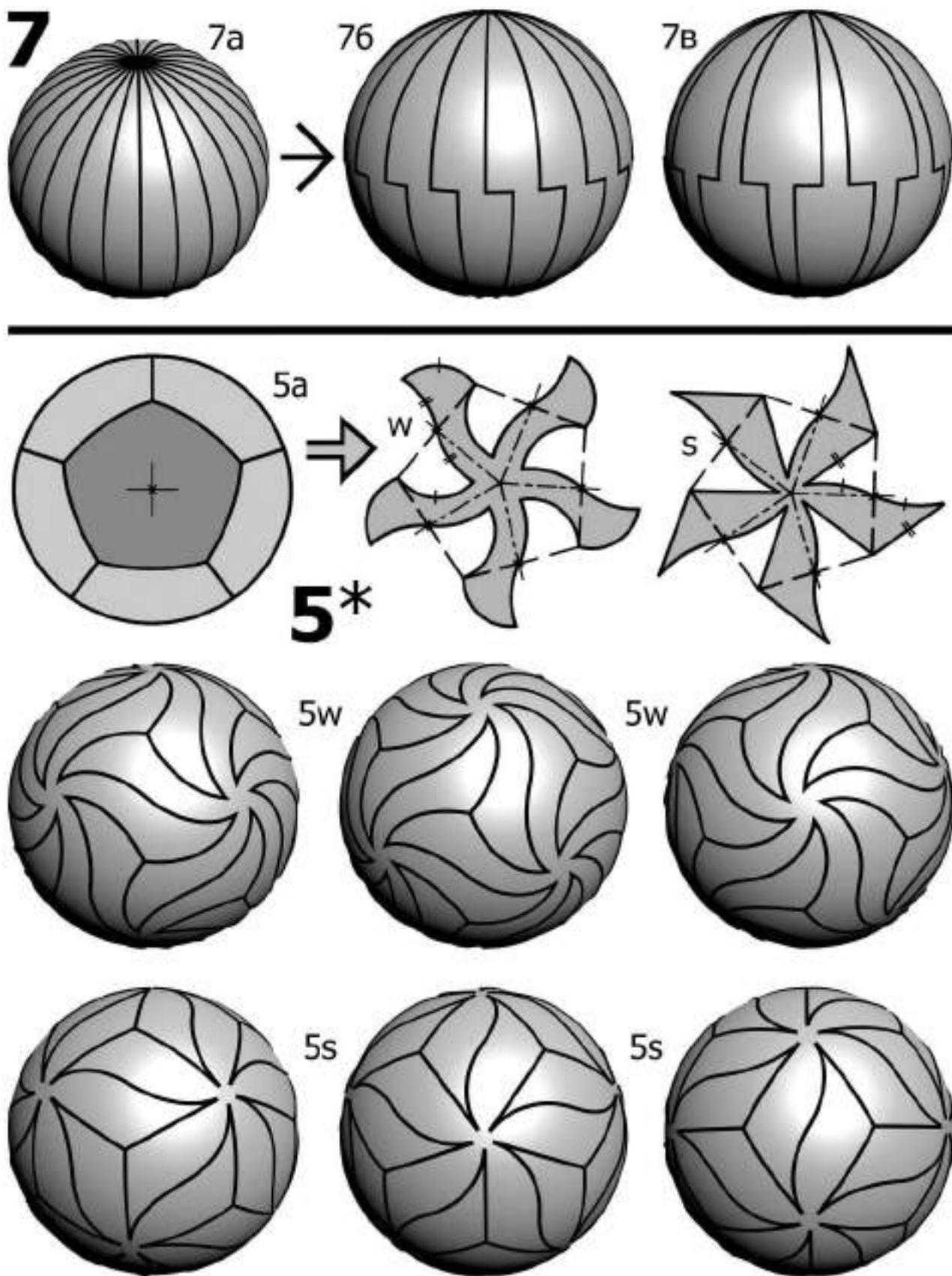


Рисунок 83 - Новые типы изоэдральных сферических разбиений, а также производных звездчатых и сотовых многогранников, созданных преобразованием исходных сферических проекций простейших базовых равнозлементных многогранников. Разбиения паркетируются выпуклыми, невыпуклыми и звездчатыми сферическими отсеками, очерченными плоскими/неплоскими кривыми. Автор алгоритмов, новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

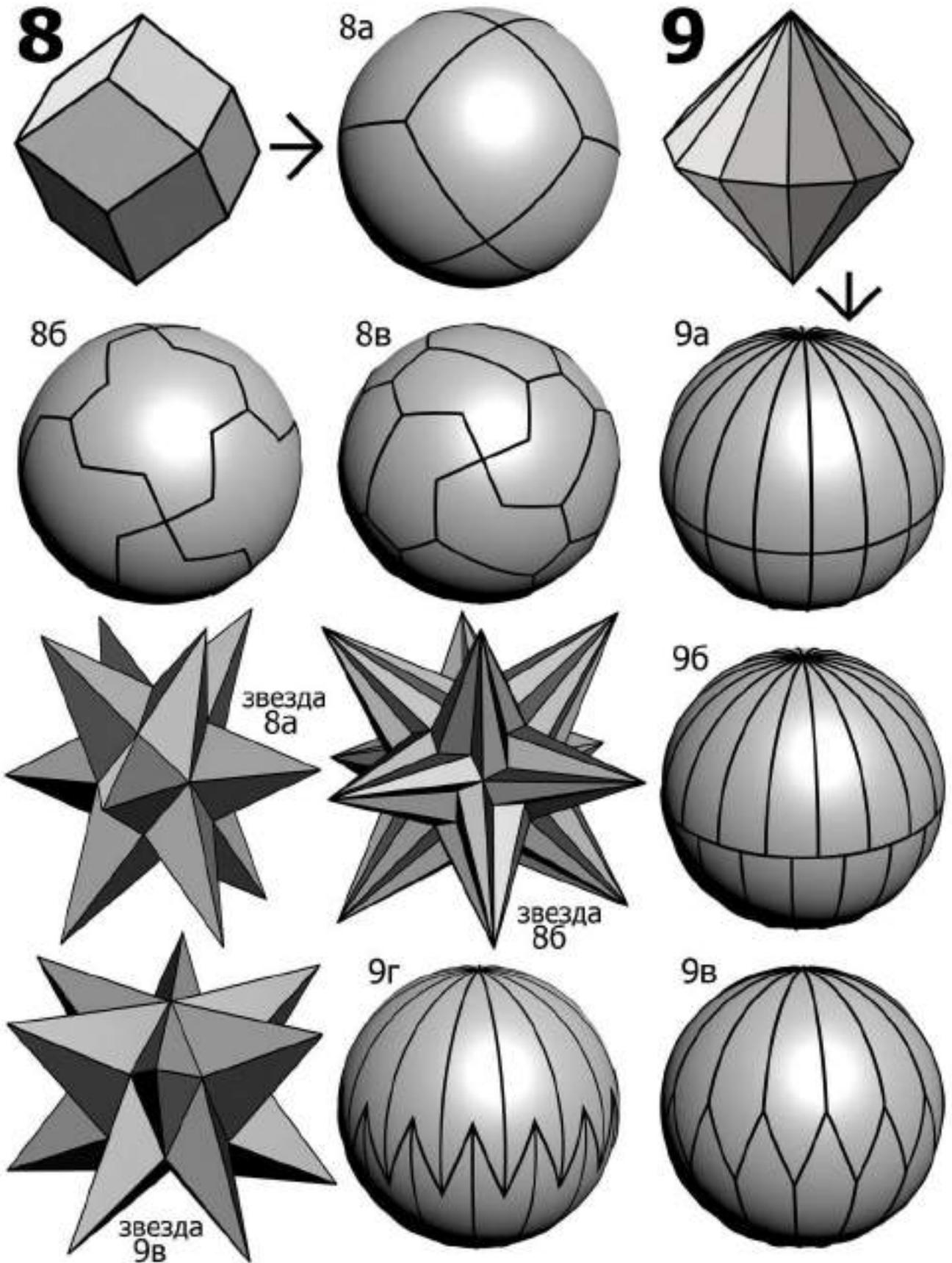


Рисунок 84 - Основные типы многогранных тонкостенных модулей с симметричной структурой как базовых типозлементов при инверсионном и трансляционном моделировании периодических многогранных оболочек плоскостного очертания, имеющих сплошную поверхность. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

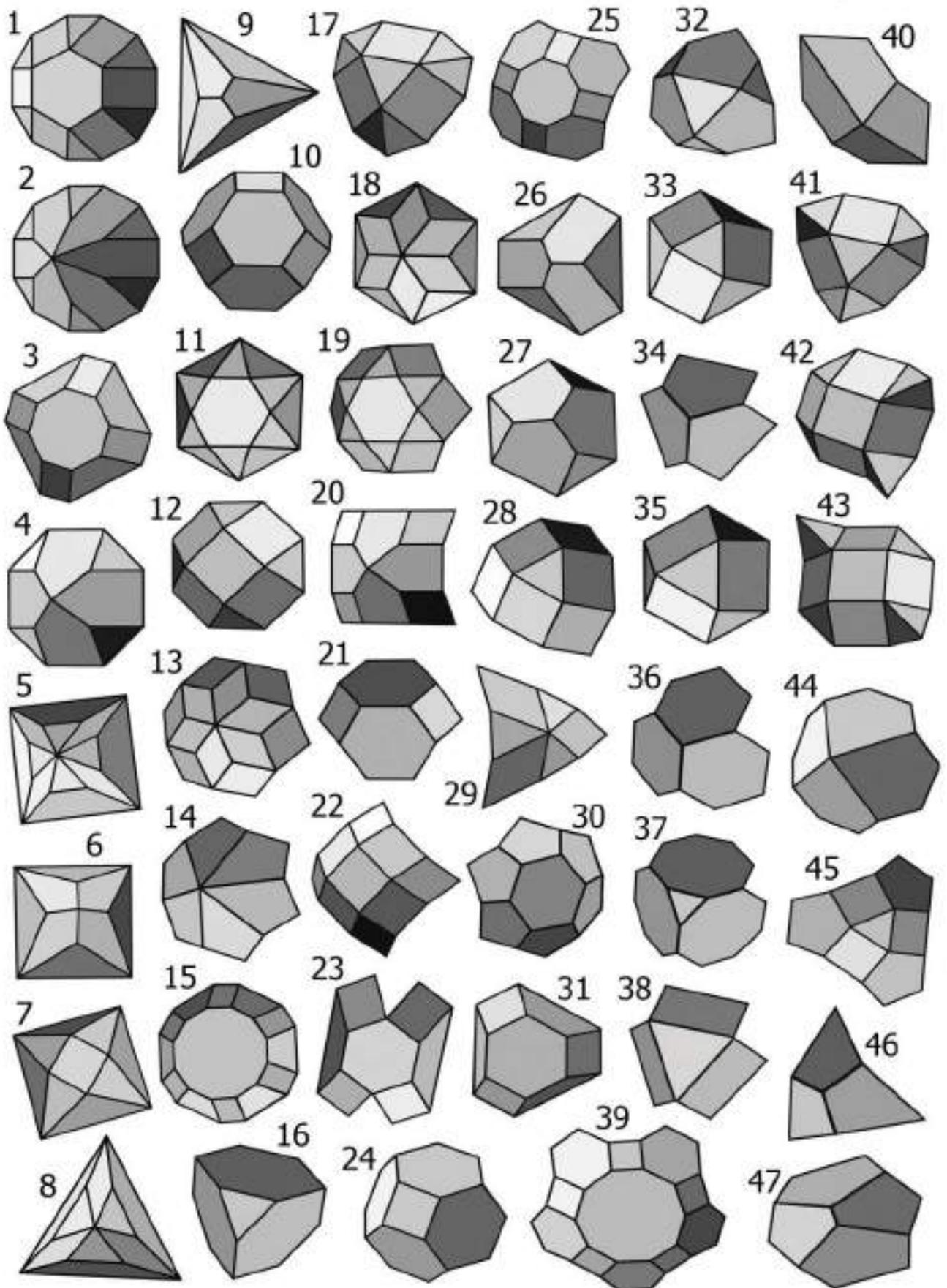


Рисунок 85 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

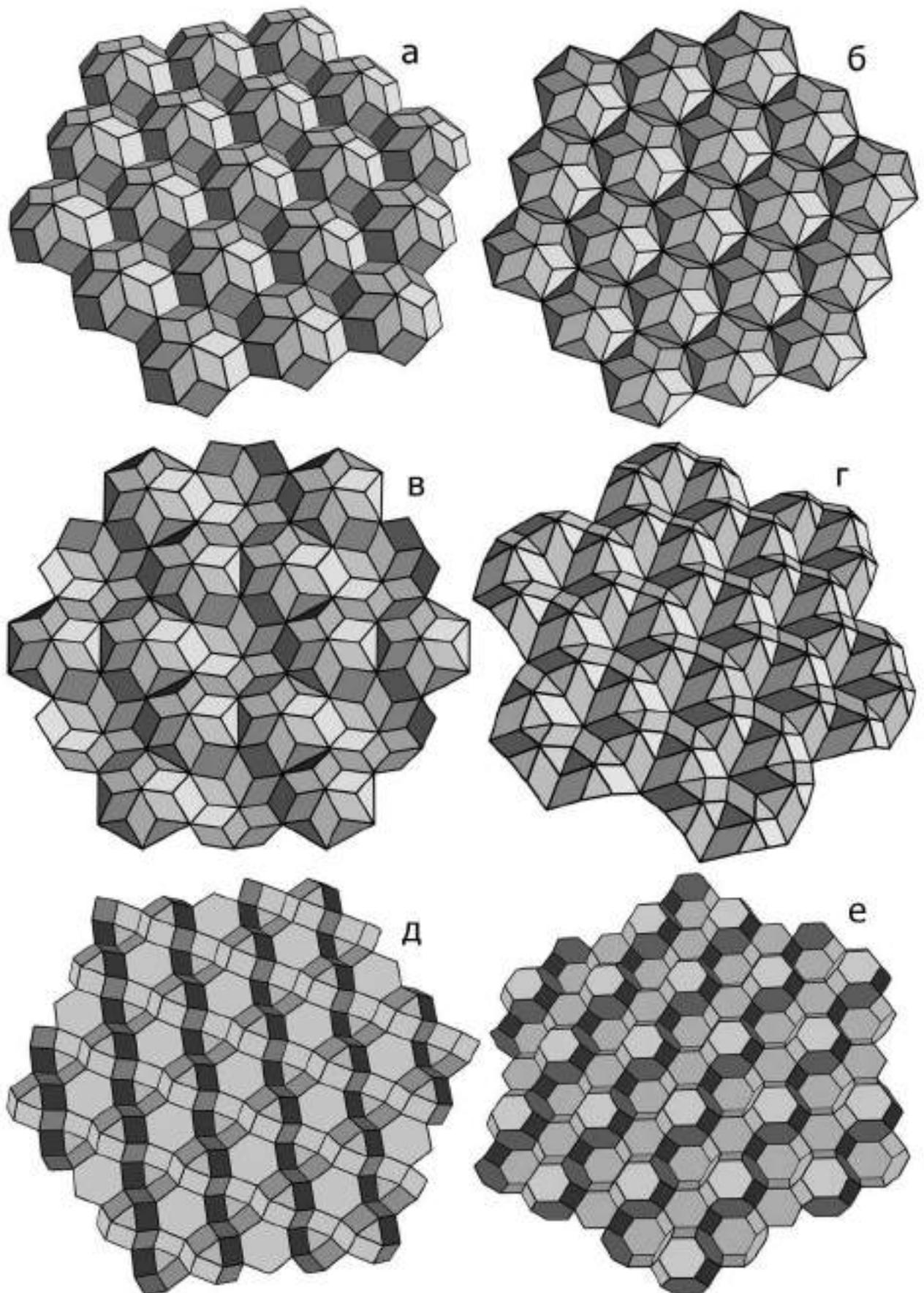


Рисунок 86 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

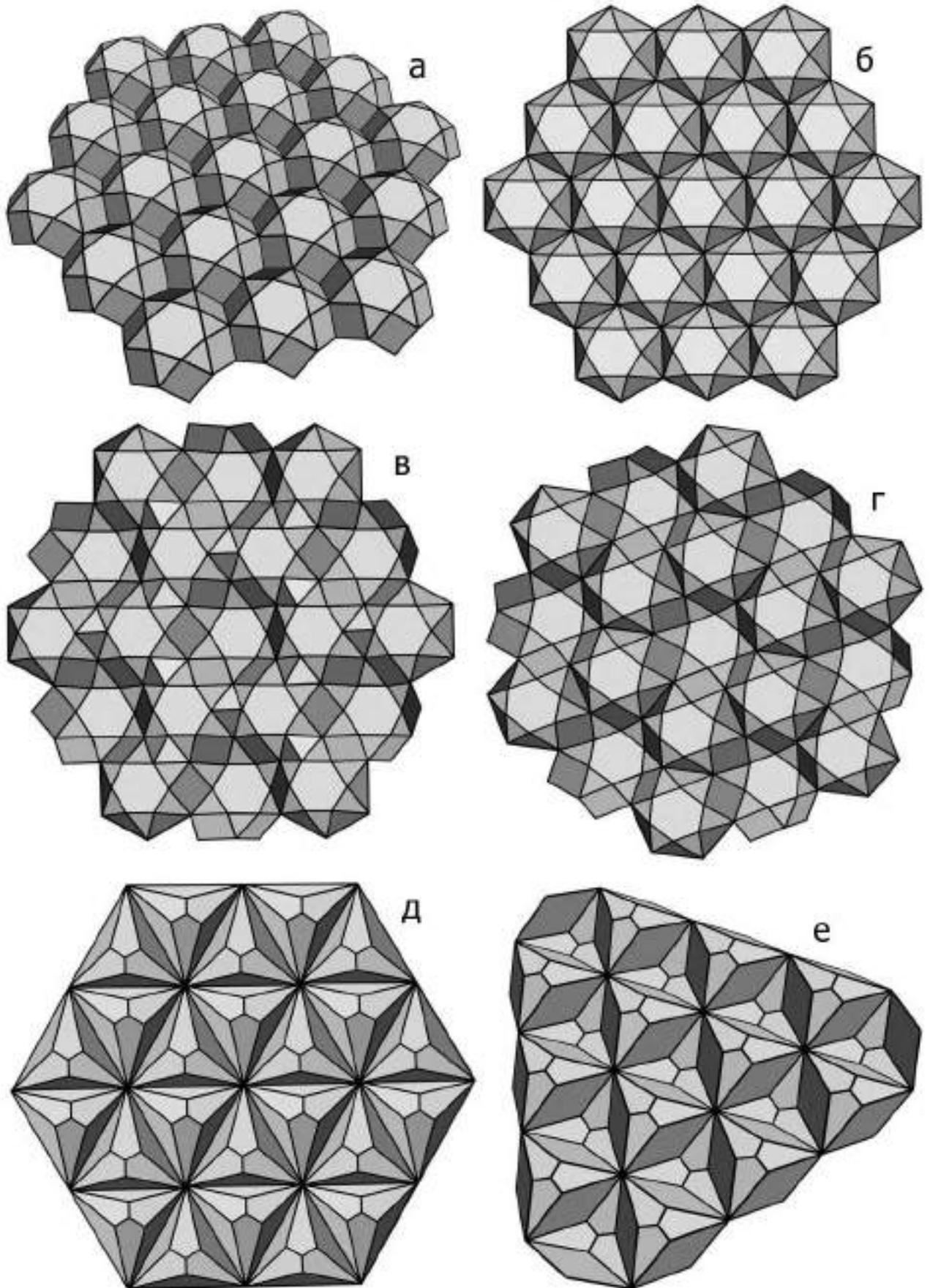


Рисунок 87 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

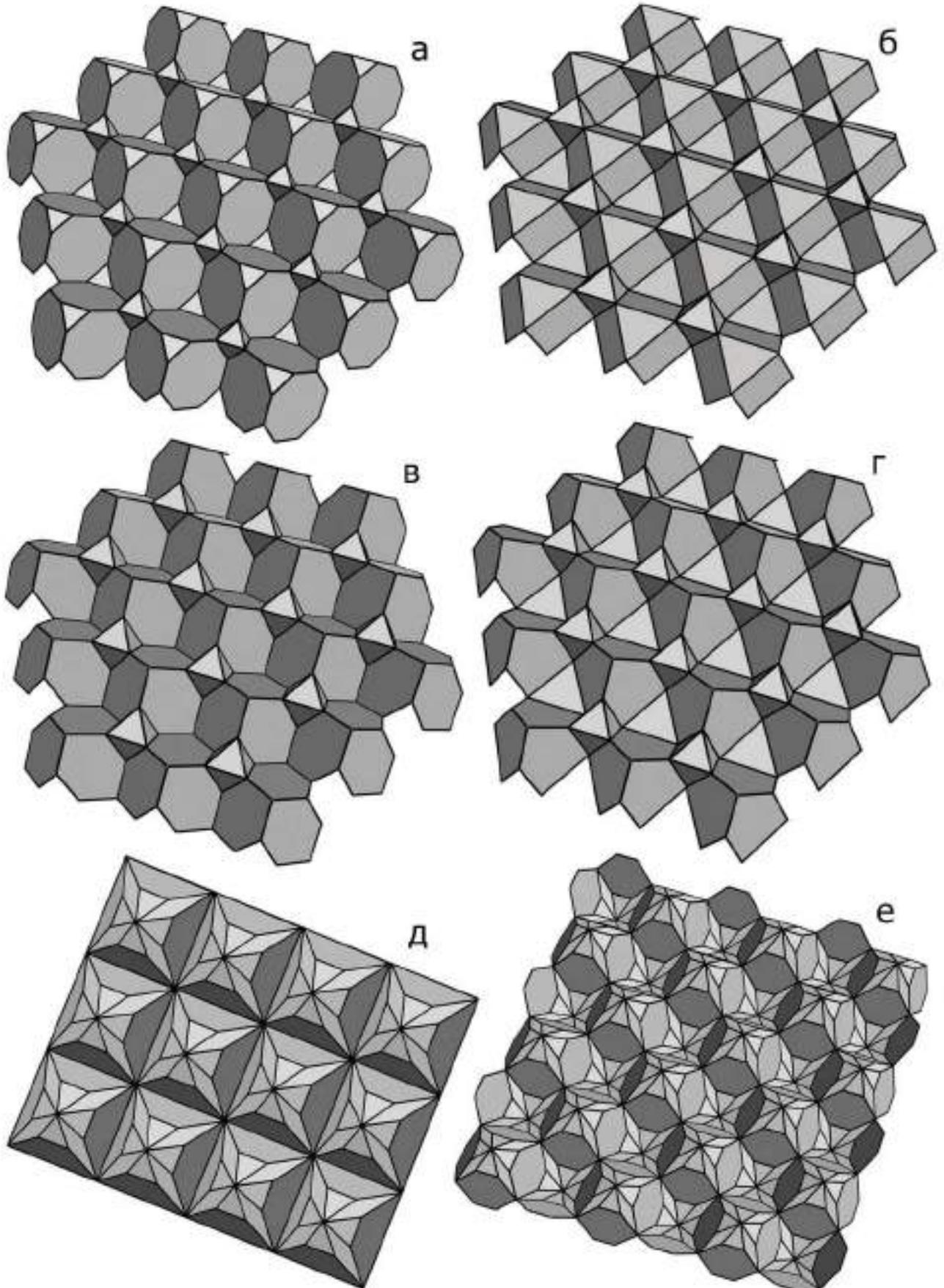


Рисунок 88 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

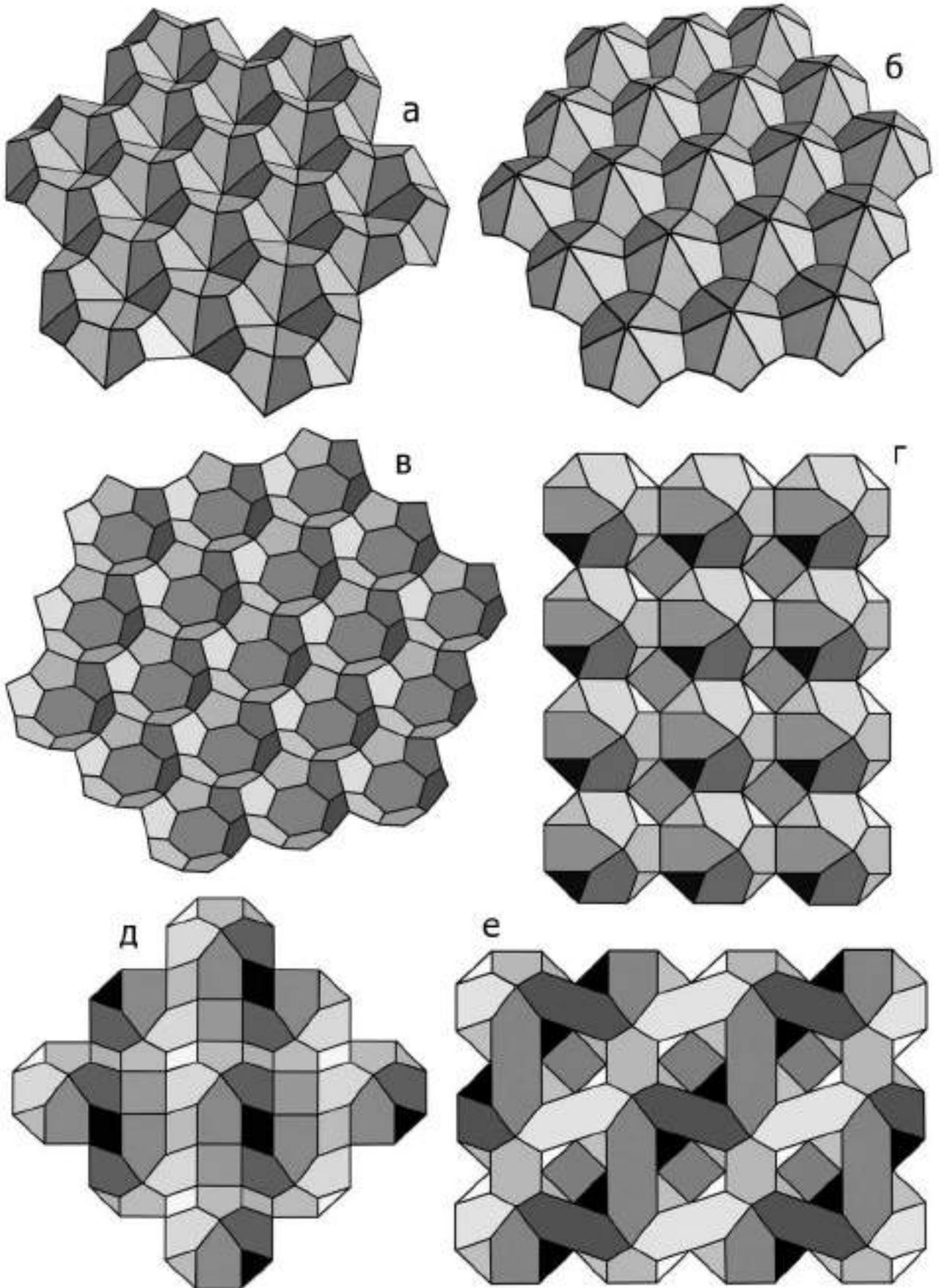


Рисунок 89 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

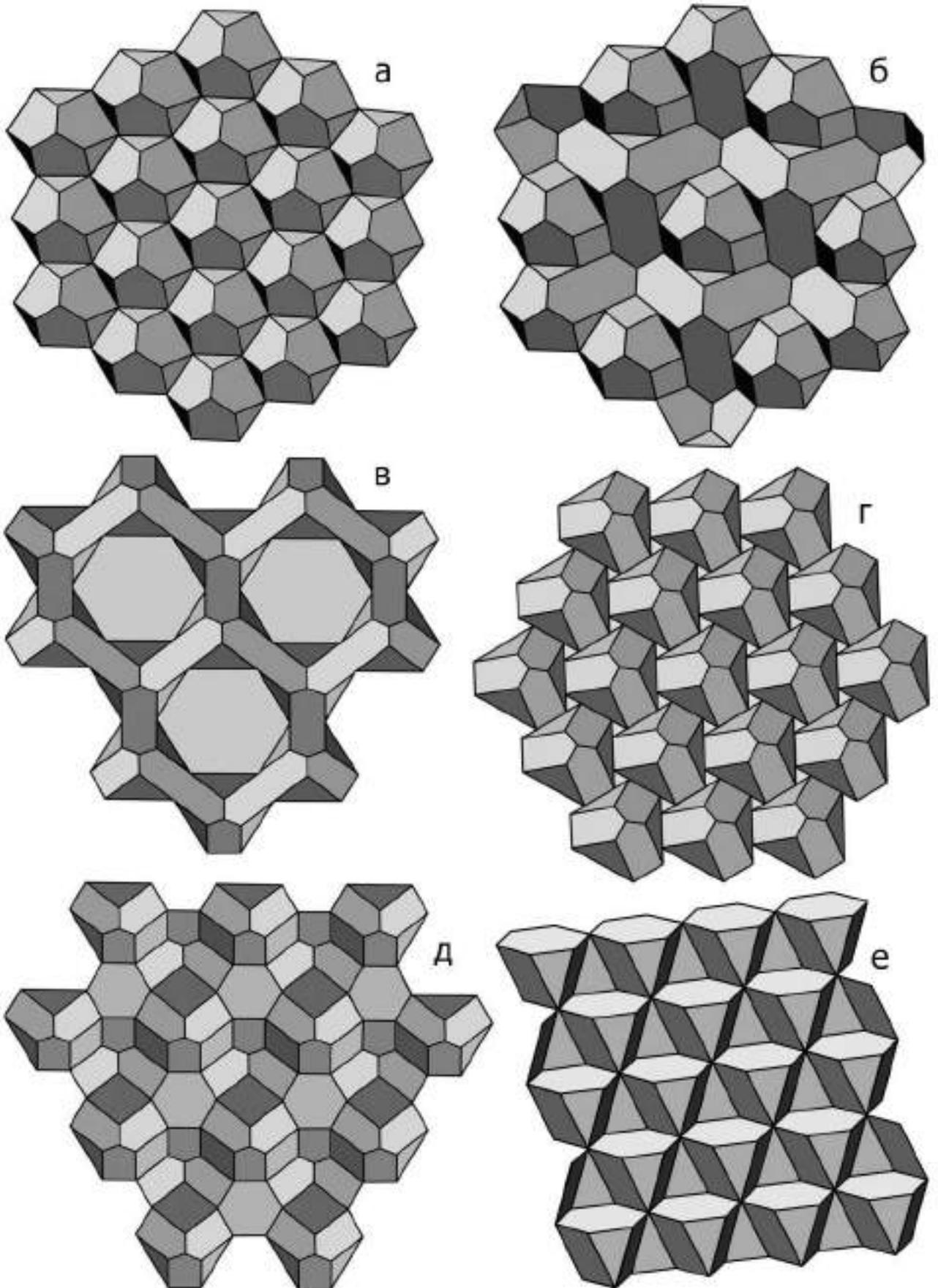


Рисунок 90 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

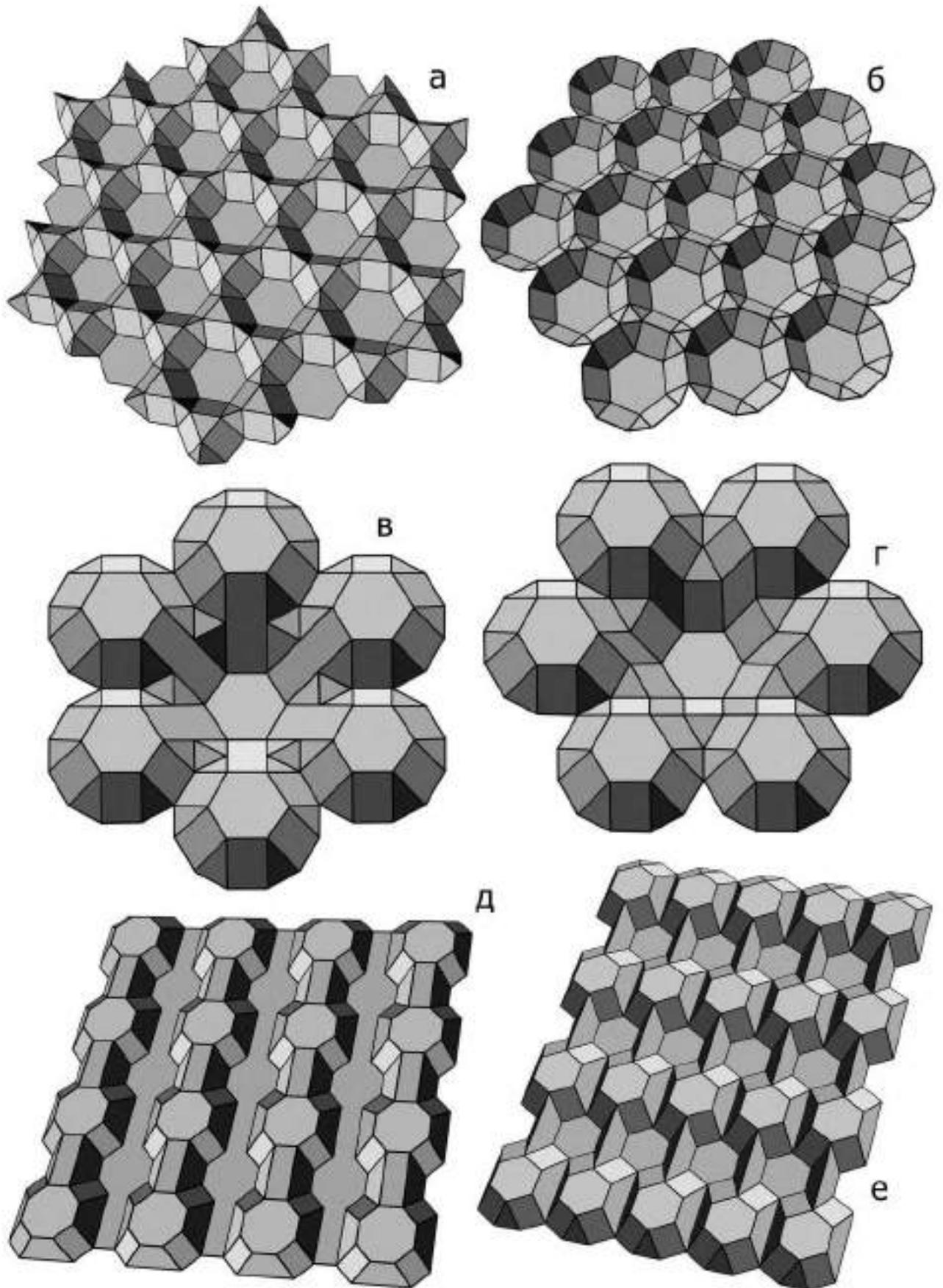


Рисунок 91 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим поворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

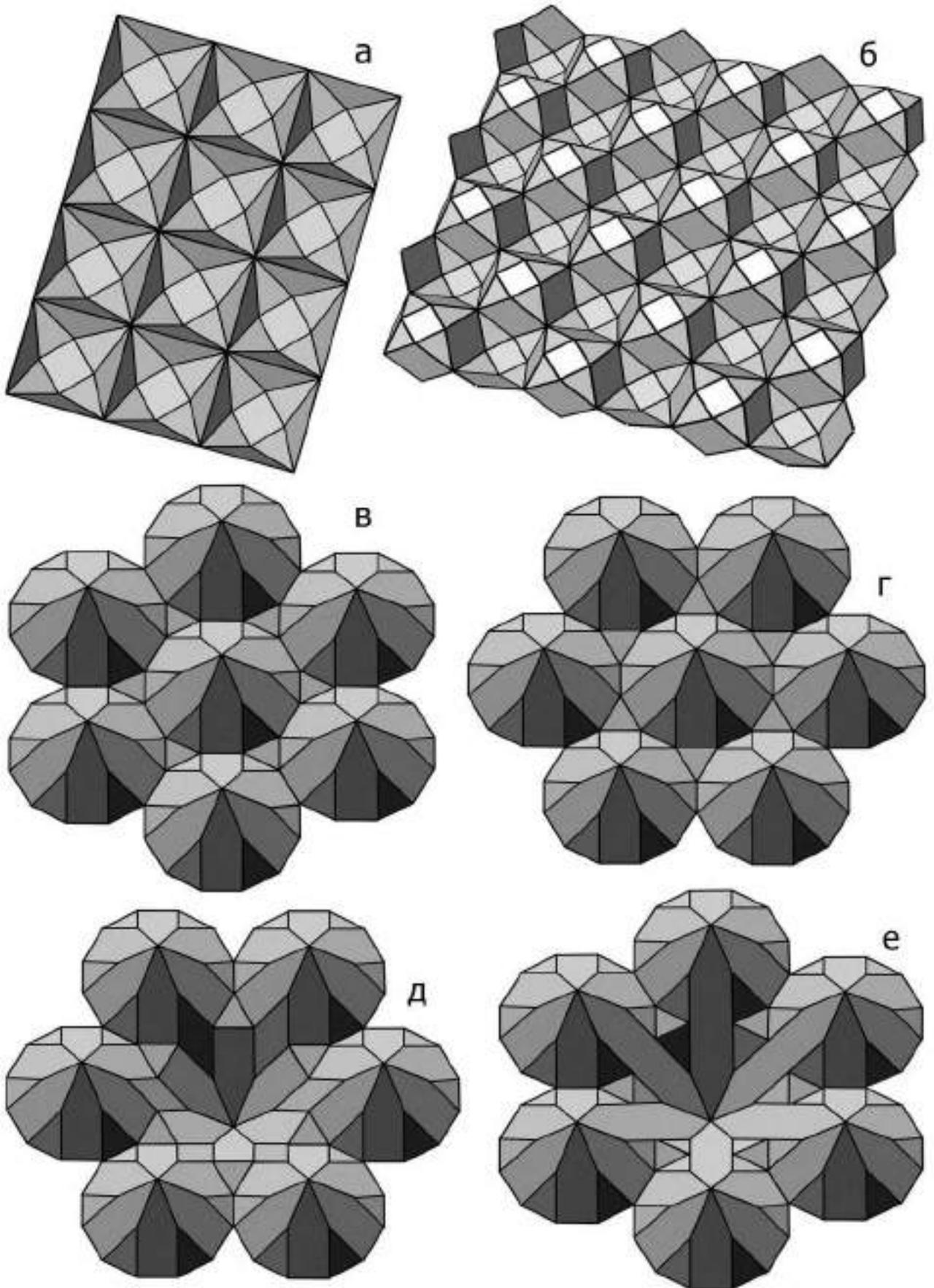


Рисунок 92 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

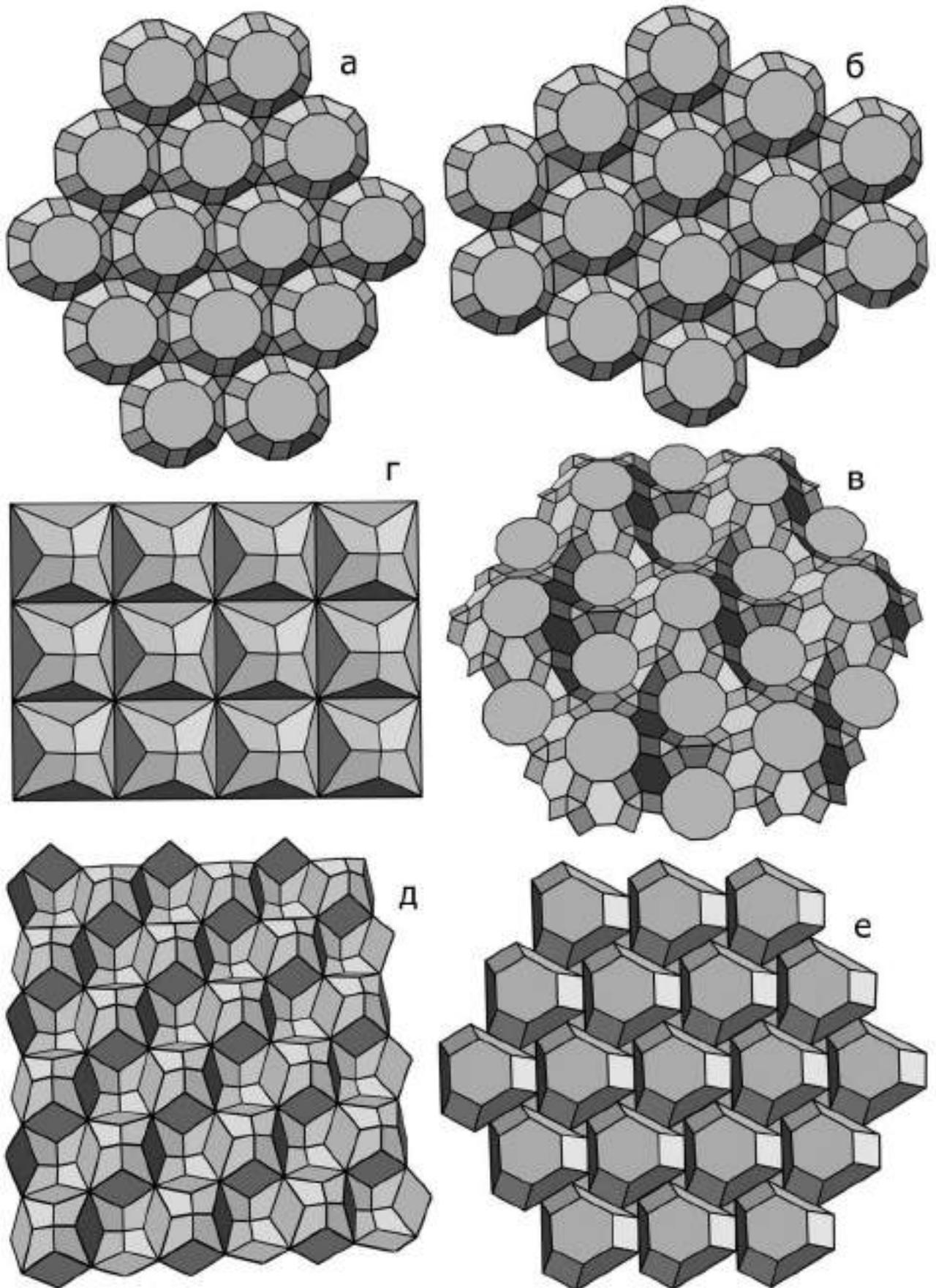


Рисунок 93 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

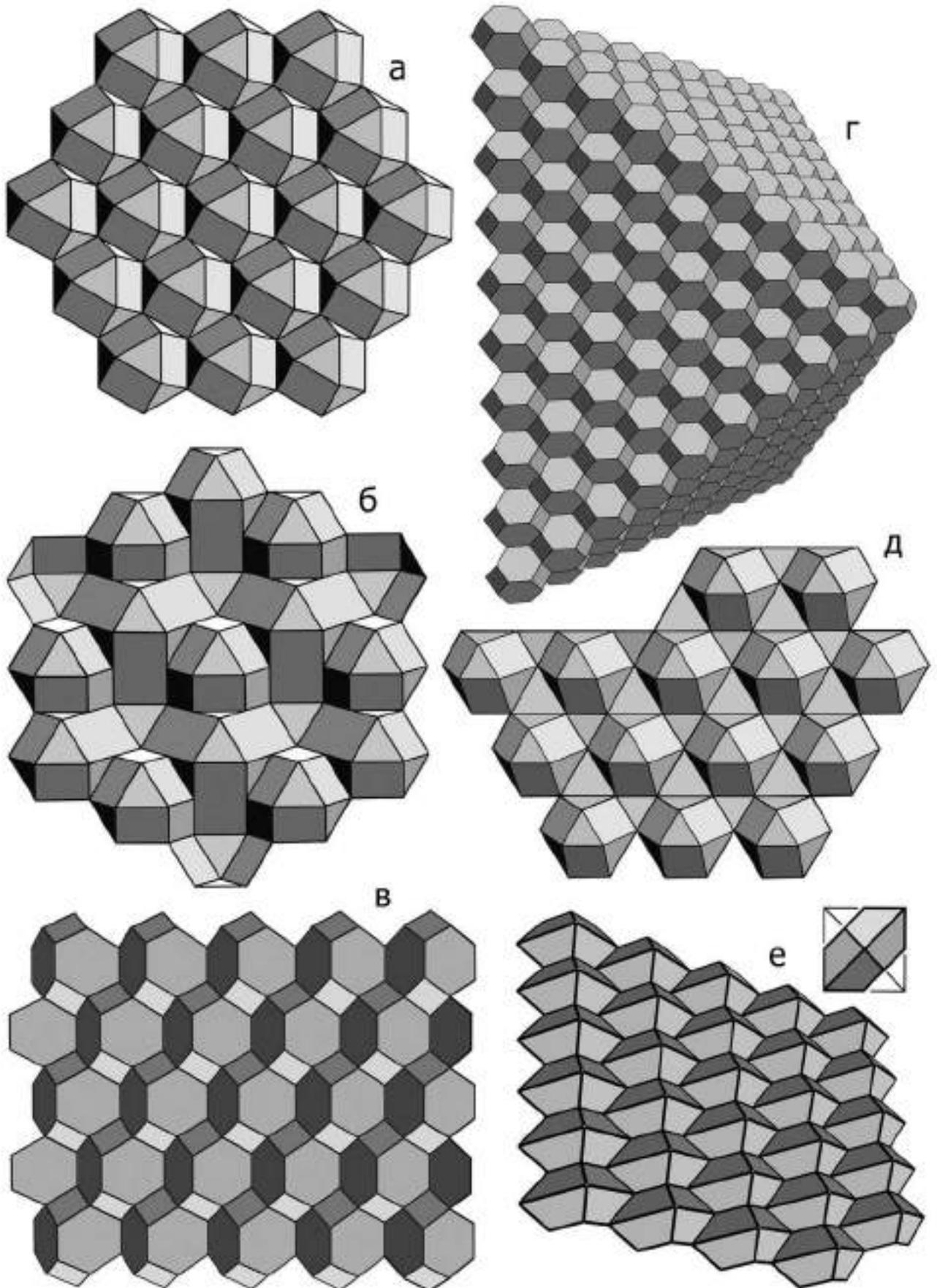


Рисунок 94 - Основные типы периодических многогранных оболочек плоскостного очертания с симметричной регулярной ячеистой структурой, сплошная складчатая поверхность которых образована вариационной компоновкой базовых модулей при их дискретной плоскопараллельной трансляции либо при дискретном их перемещении с периодическим переворотом/инверсией. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

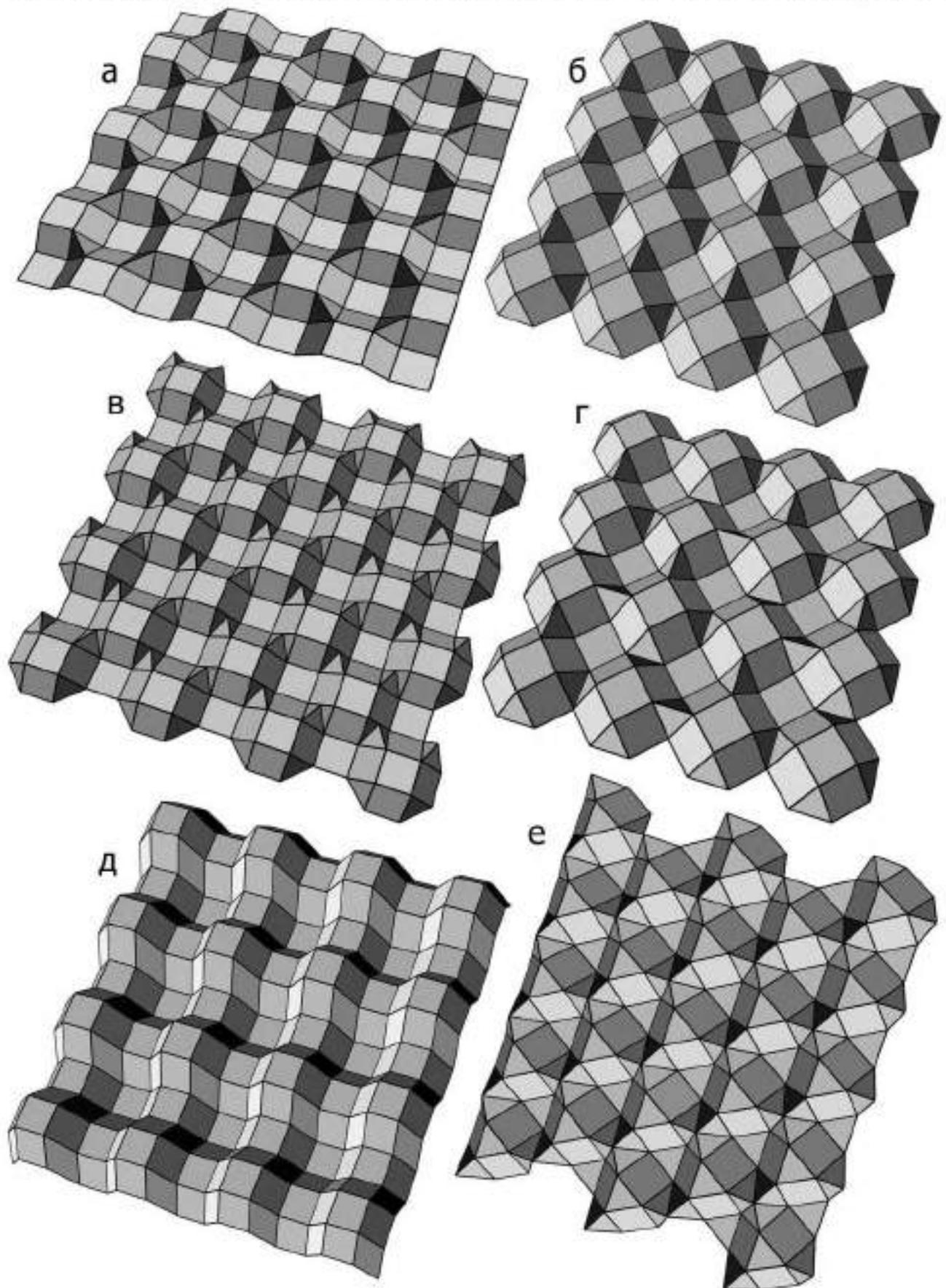


Рисунок 95 - Основные типы периодических ступенчатых многогранных структур, сплошная складчатая регулярная поверхность которых образована ступенчатым расположением однотипных призматических модулей, поперечное сечение которых обеспечивает их плотнейшую взаимную пространственную стыковку (является одним из видов изоздральных разбиений плоскости). Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

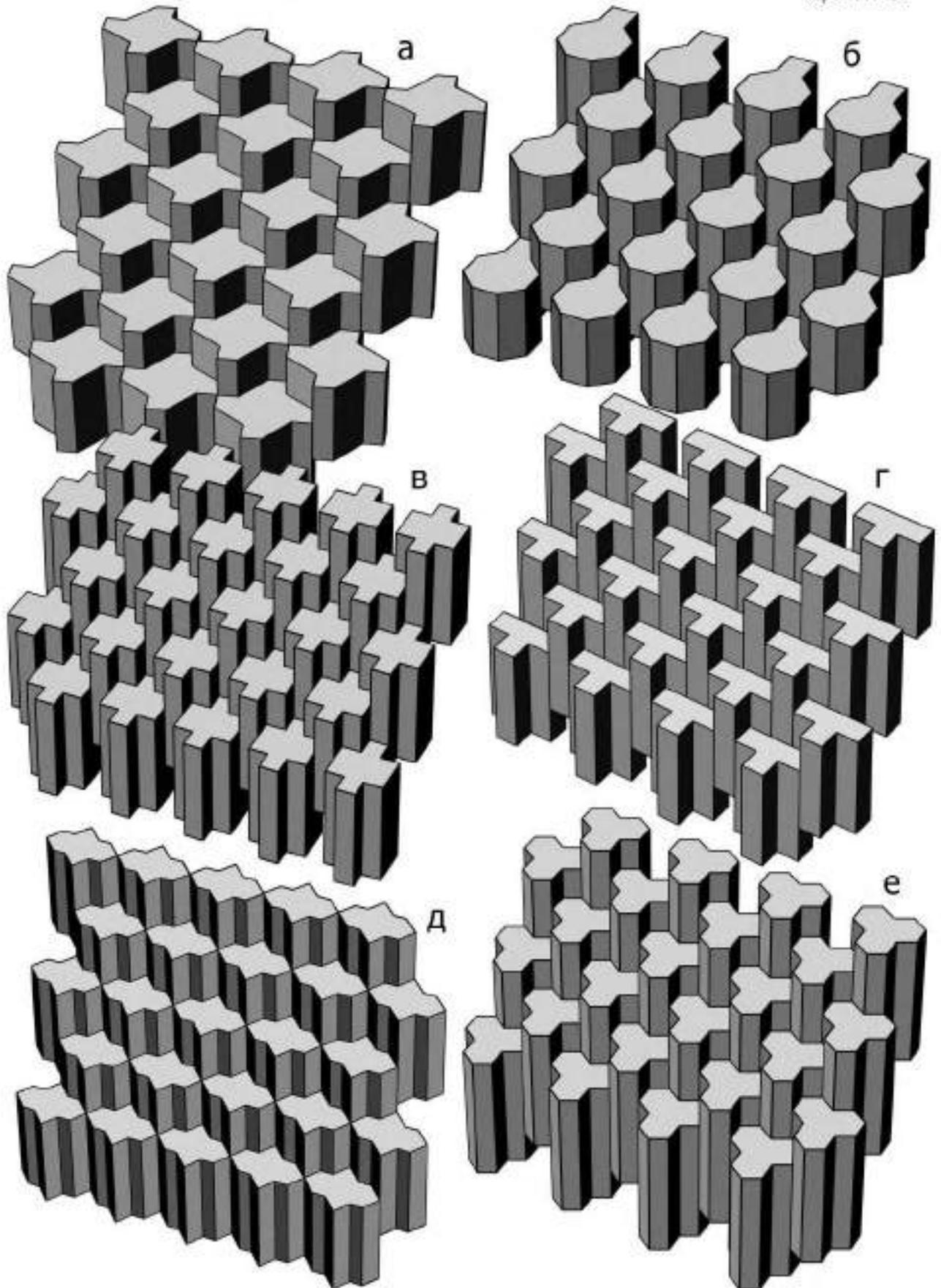


Рисунок 96 - Основные типы периодических ступенчатых многогранных структур, сплошная складчатая регулярная поверхность которых образована ступенчатым расположением однотипных призматических модулей, поперечное сечение которых обеспечивает их плотнейшую взаимную пространственную стыковку (является одним из видов изоэдральных разбиений плоскости). Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

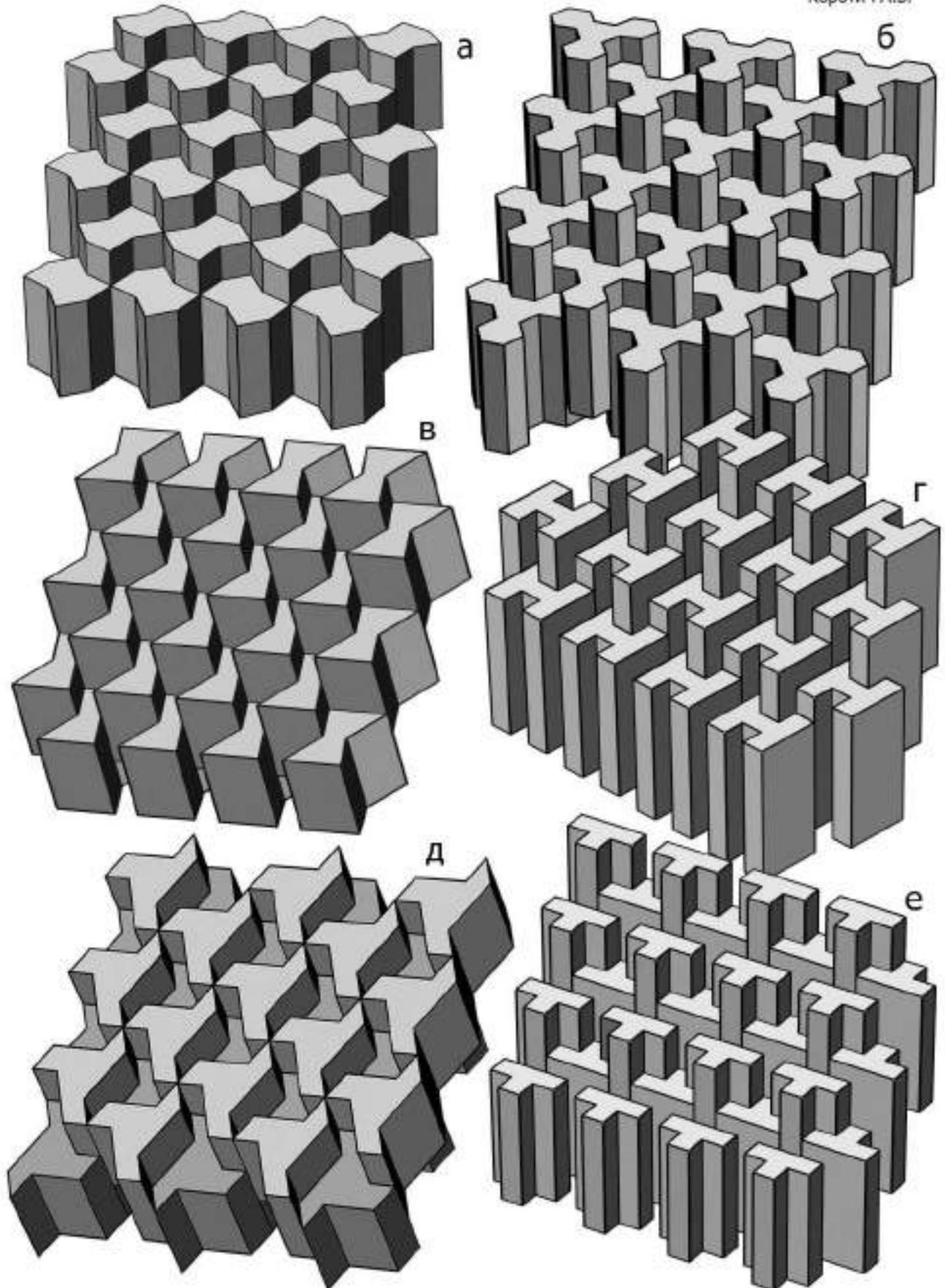


Рисунок 97 - Новые типы фрактально-ступенчатых и фрактально-решетчатых псевдомногогранников, составленных из однотипных модулей с квадратными и равносторонними треугольными основаниями по кубической, октаэдральной и икосаэдральной компоновочным схемам. Автор новых разработанных моделей и рисунков Коротич А.В.

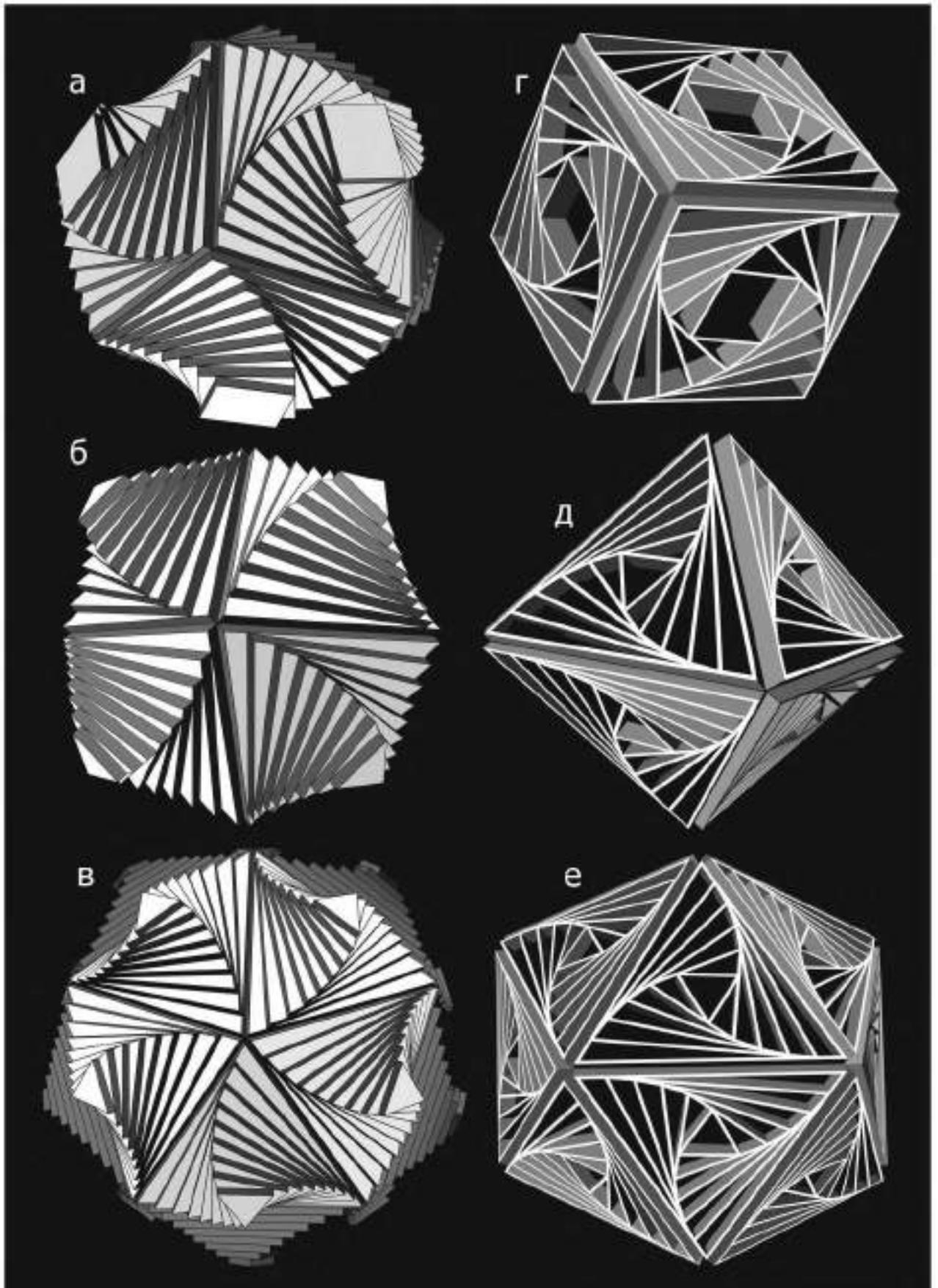


Рисунок 98 – Концептуальное решение поселений в экстремальных природно-климатических условиях (производственно-жилые комплексы в районах газовых и нефтяных месторождений, военные городки для условий Арктики/Антарктики). Объекты комплексов собираются из ограниченной номенклатуры складчатых, решетчатых и сферических конструкций полной заводской готовности. Автор разработки и рисунка Коротин А.В.



Рисунок 99 – Концептуальное решение поселений в экстремальных природно-климатических условиях (производственно-жилые комплексы в районах газовых и нефтяных месторождений, военные городки для условий Арктики/Антарктики). Объекты комплексов собираются из ограниченной номенклатуры складчатых, решетчатых и сферических конструкций полной заводской готовности. Автор разработок и рисунка Коротич А.В.



Рисунок 100 - Концептуальные предложения многофункциональных многомодульных орбитальных космических комплексов, аппроксимирующих составную структуру-бипирамиду октаэдрального типа на основе элементарных многогранных модулей формы усеченного октаэдра (а), а также элементарных многогранных модулей формы ромбокубооктаэдра (б). Автор концептов и рисунков Коротич А.В.

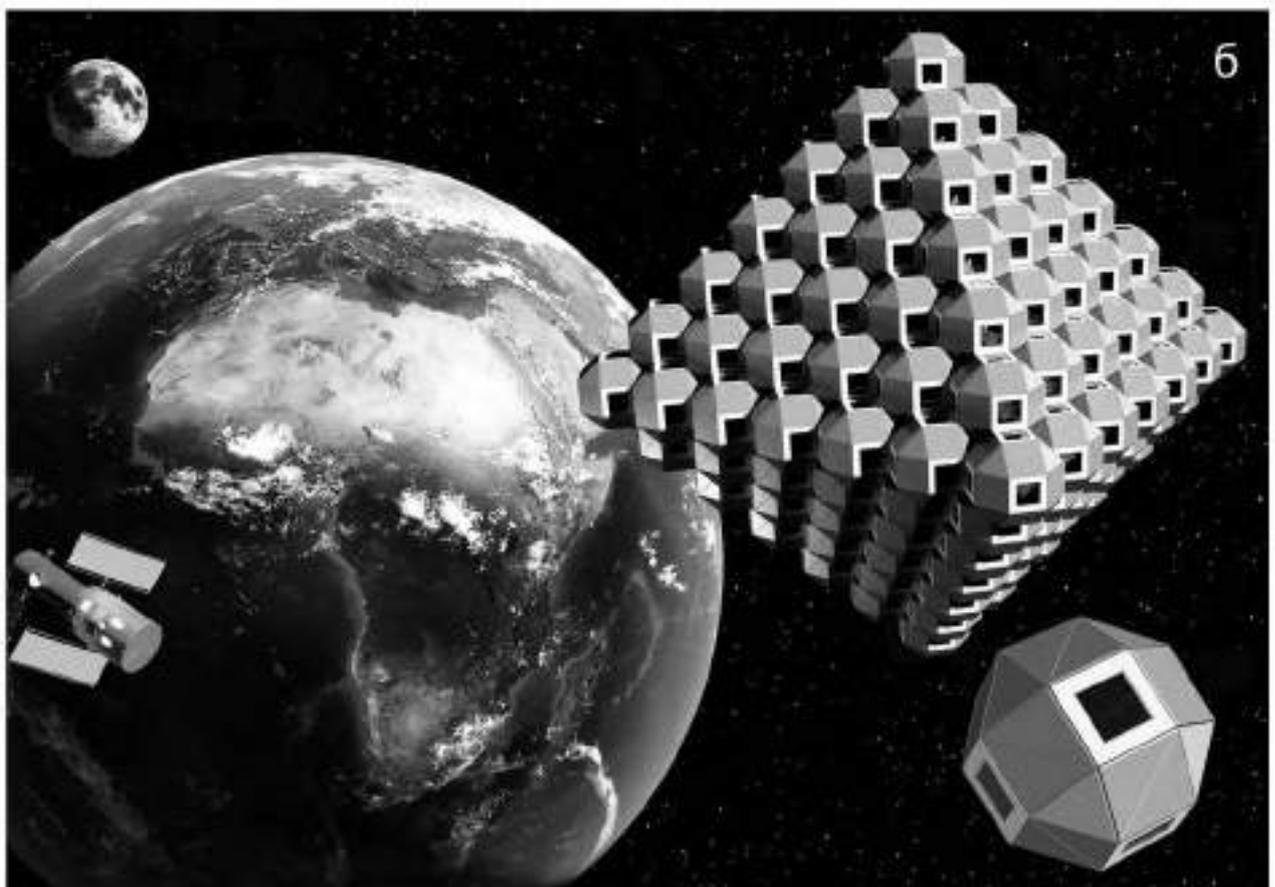
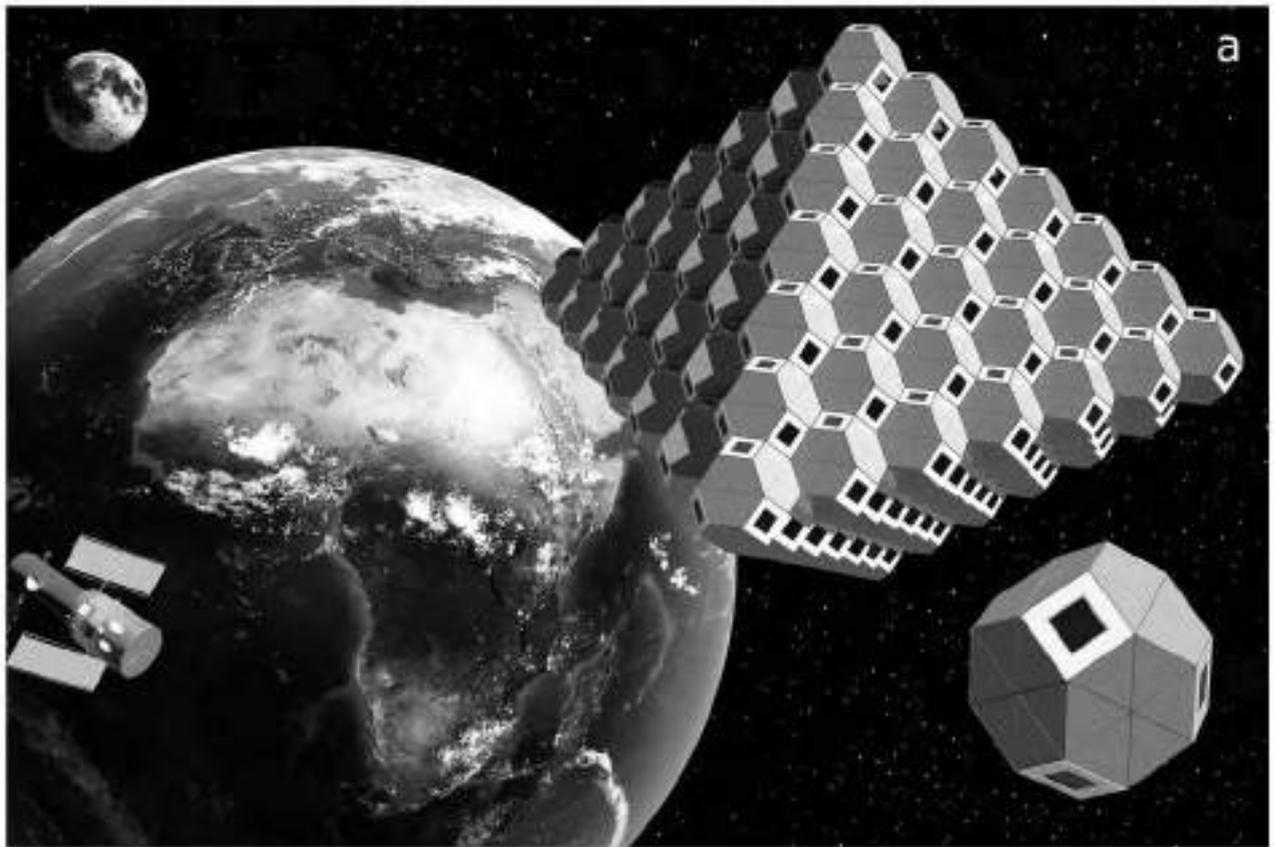


Рисунок 101 - Концептуальные предложения многофункциональных многомодульных орбитальных космических комплексов, аппроксимирующих составную структуру-бипирамиду октаэдрального типа на основе сферических модулей с изосдральной пентагональной разбивкой, а также модулей формы ромбосеченного кубооктаэдра с присоединенными боковыми шлюзовыми призматическими блоками. Автор концептов и рисунков Коротич А.В.

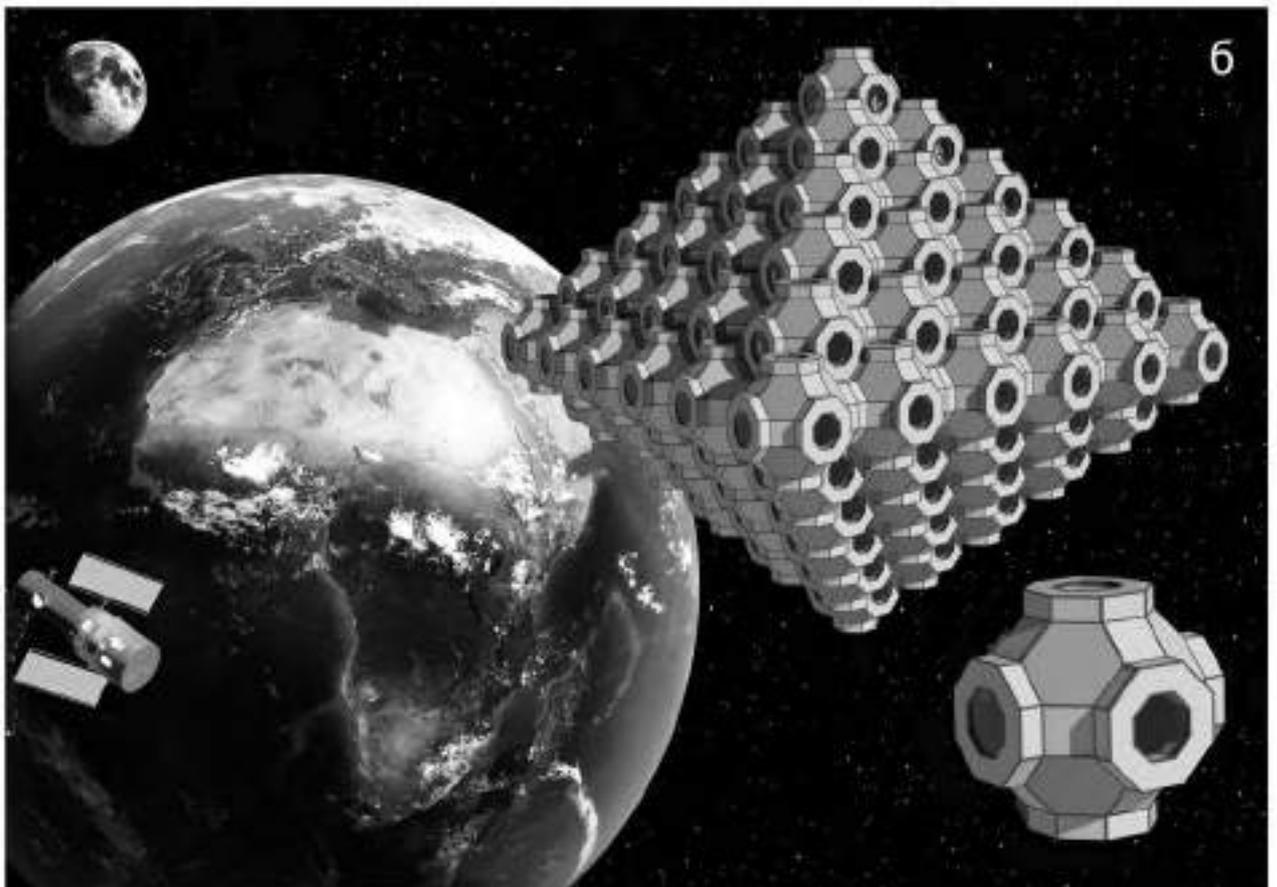
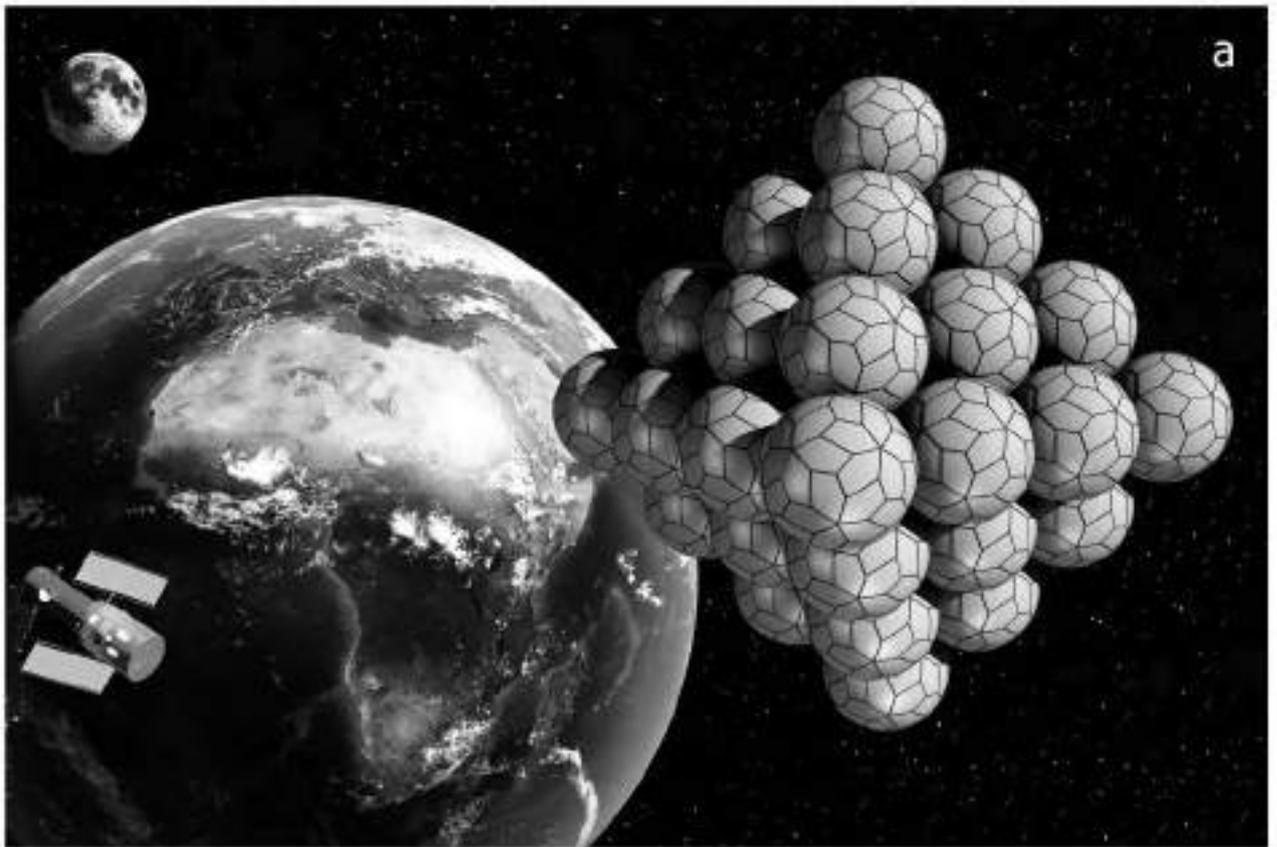


Рисунок 102 - Концептуальное предложение многофункционального многомодульного орбитального космического комплекса, аппроксимирующего составную кубическую структуру на основе модулей формы ромбокубооктаэдра, а также комплекса, имеющего разветвленную многозвенную структуру и составленного из модулей формы ромбикосододекаэдра (два варианта). Автор концептов и рисунков Коротич А.В.

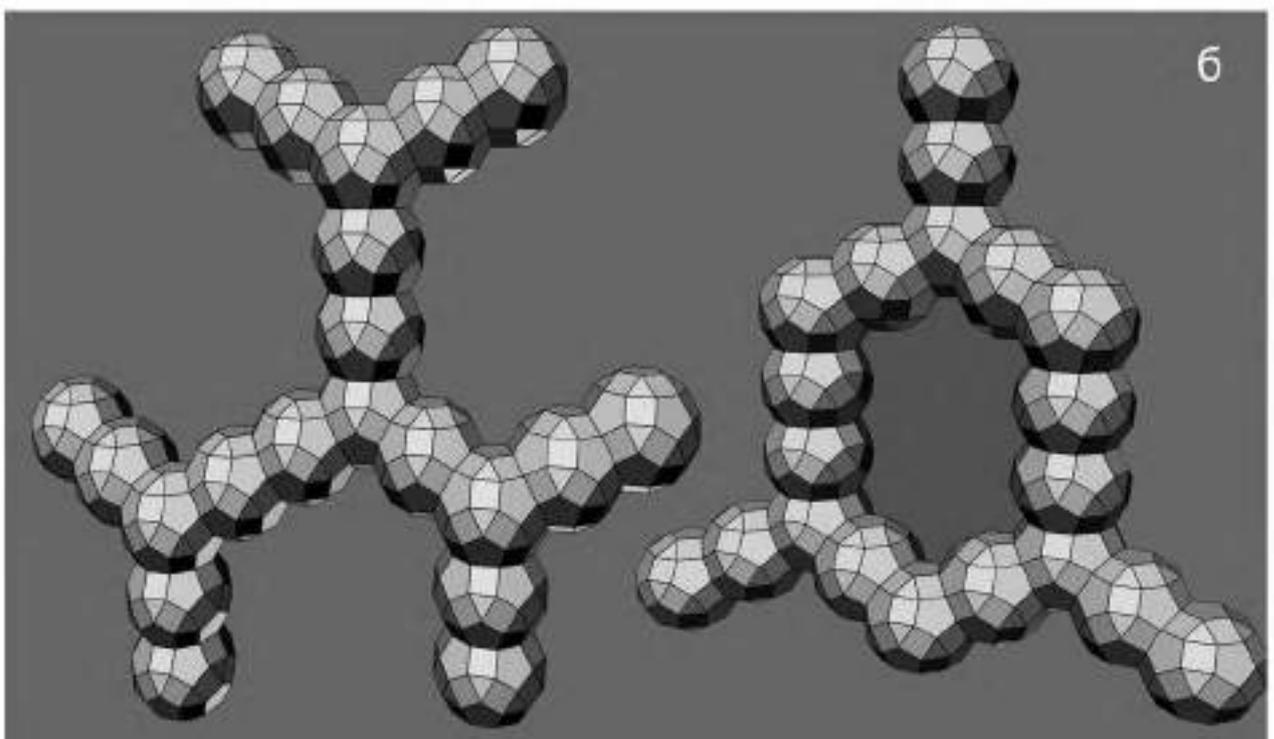
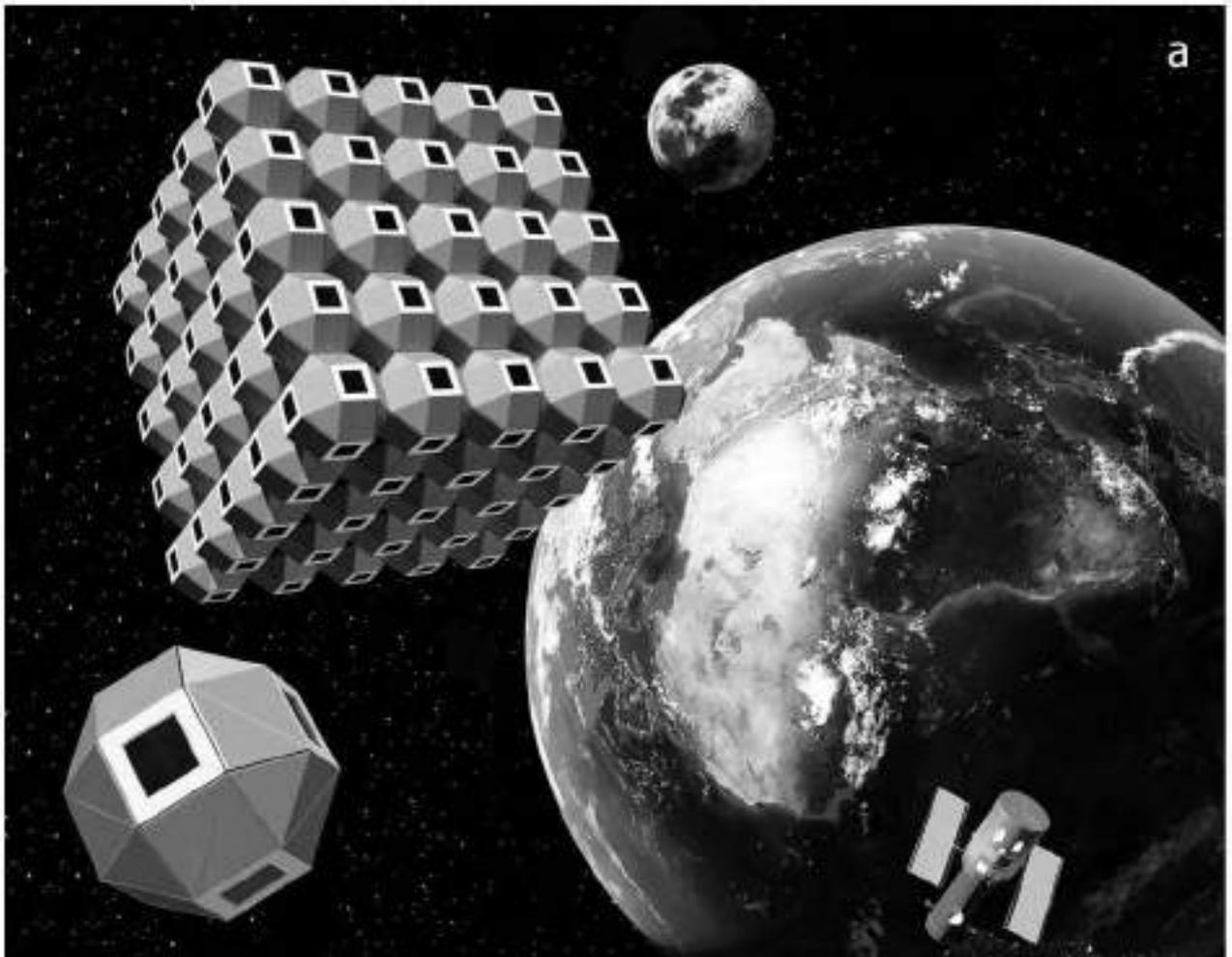


Рисунок 103 - Концептуальное предложение многофункционального многомодульного напланетного (лунного) промышленно-жилого комплекса с составными жилыми блоками на основе модулей формы усеченного октаэдра, а также промышленными сооружениями из складчатых тонкостенных оболочек пирамидального и сводчатого очертания, трансформируемых из плоскости. Автор концепта и рисунка Коротич А.В.

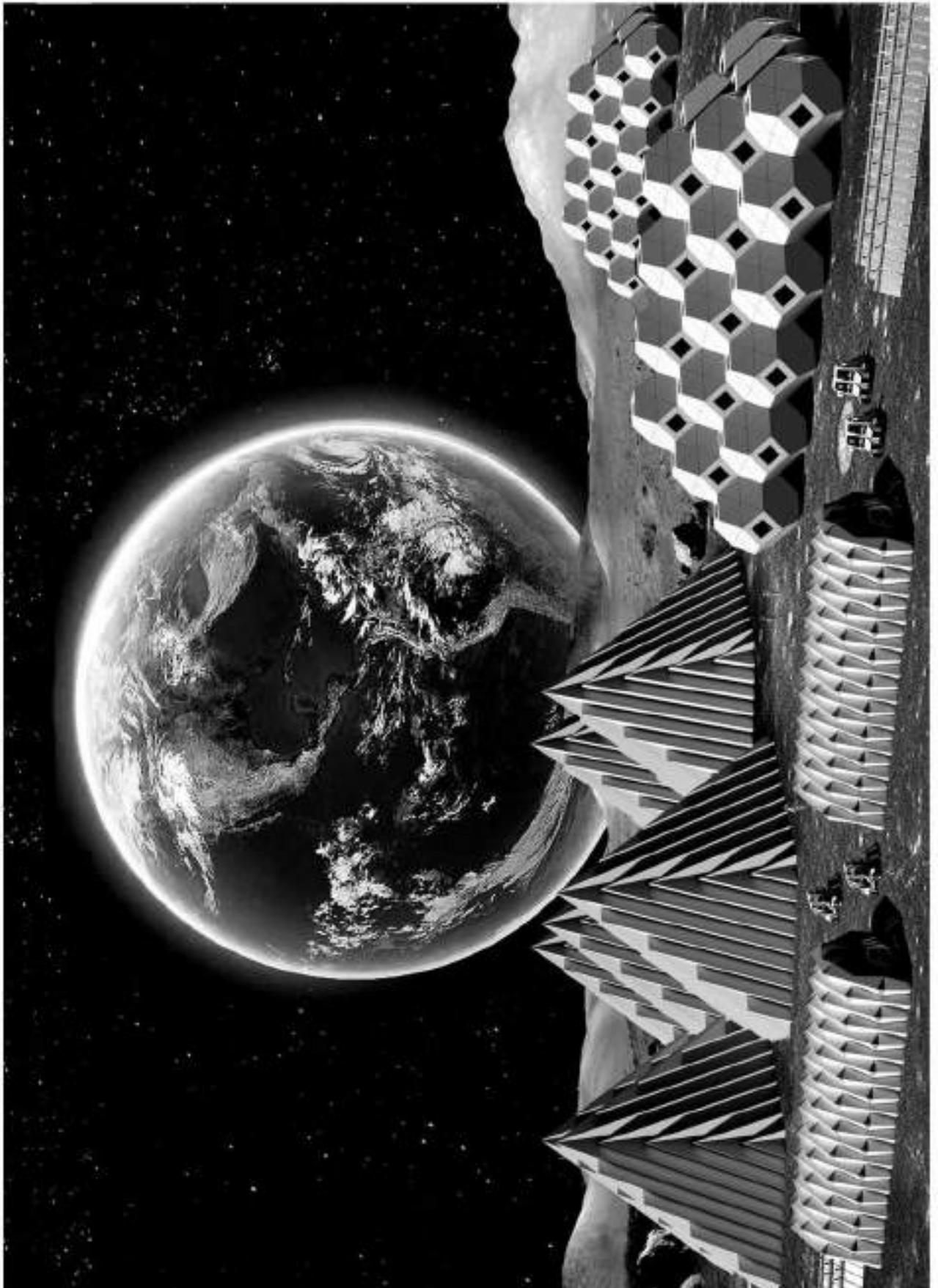


Рисунок 104 - Сферические оболочки- покрытия радарных установок. Каждая из оболочек имеет изоздральную (равноэлементную) структуру из шестидесяти пятиугольных сферических отсеков, очерченных геодезическими линиями. Изоздральные разбивки оболочек представлены в двух геометрических вариантах. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

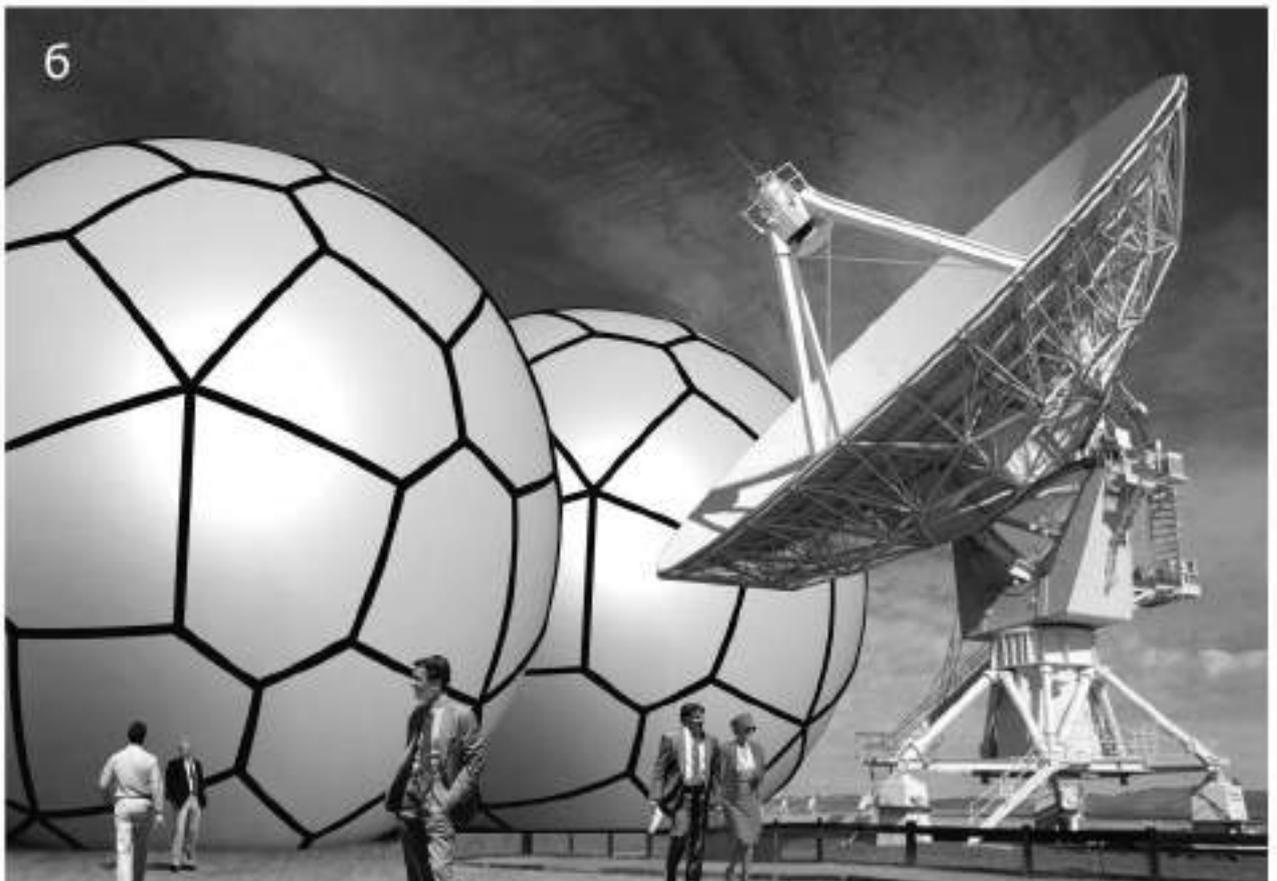


Рисунок 105 - Сферические оболочки- покрытия корабельных радарных установок. Каждая из оболочек имеет изодральную (равноэлементную) структуру из шестидесяти пятиугольных сферических отсеков, очерченных геодезическими линиями; при этом одна из оболочек представляет собой пропорционально/масштабно уменьшенную копию другой. Автор разработки и рисунка Коротич А.В.

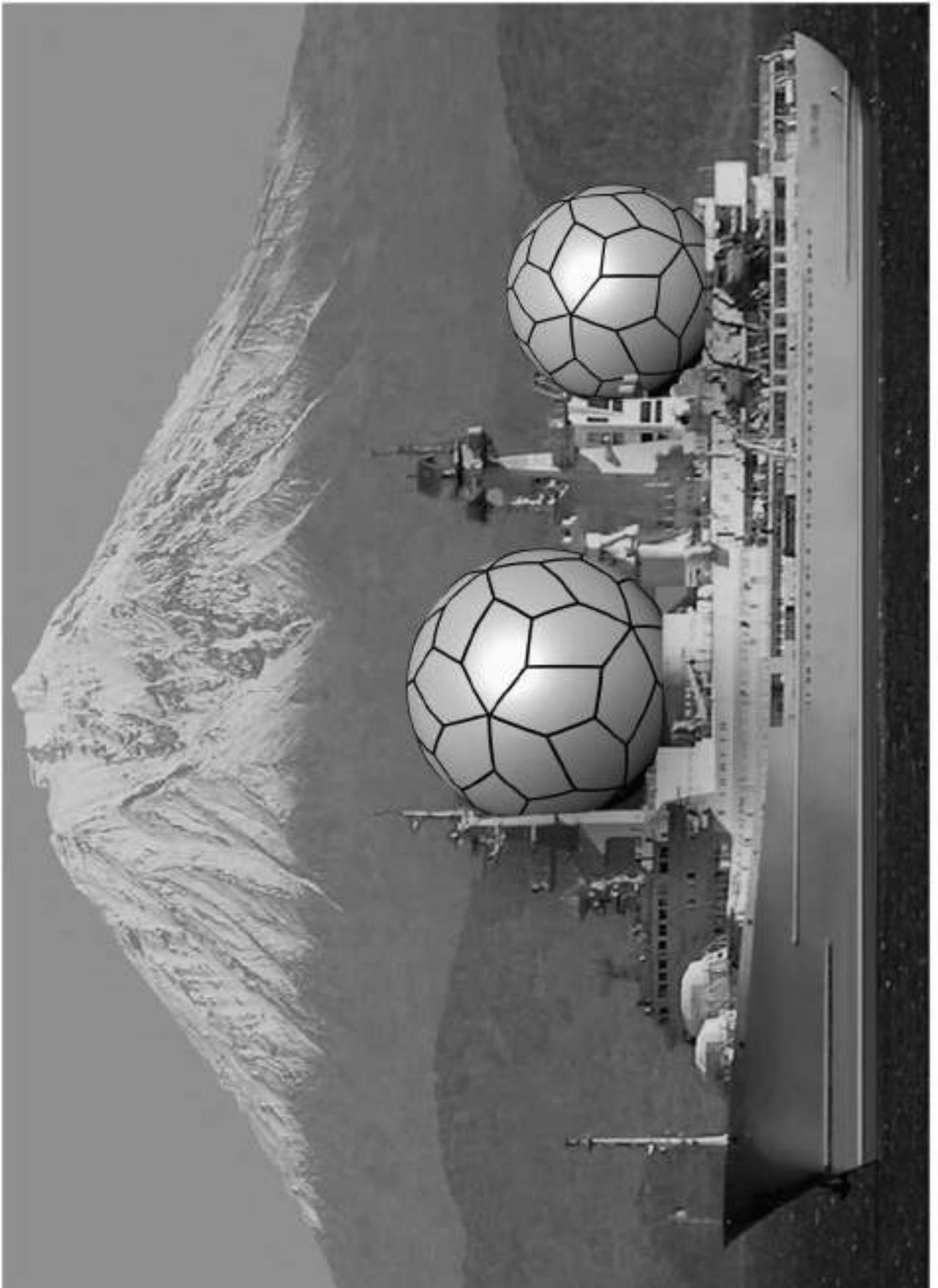
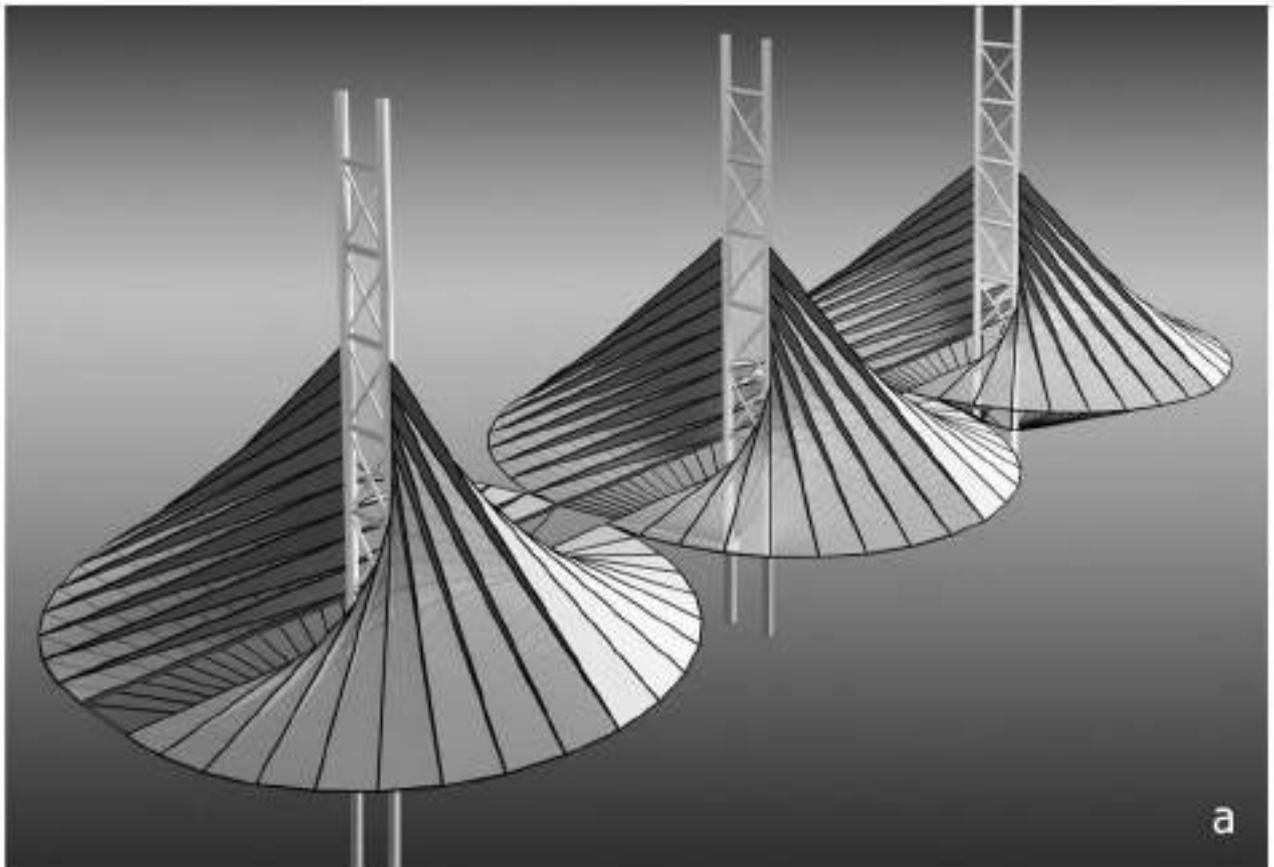
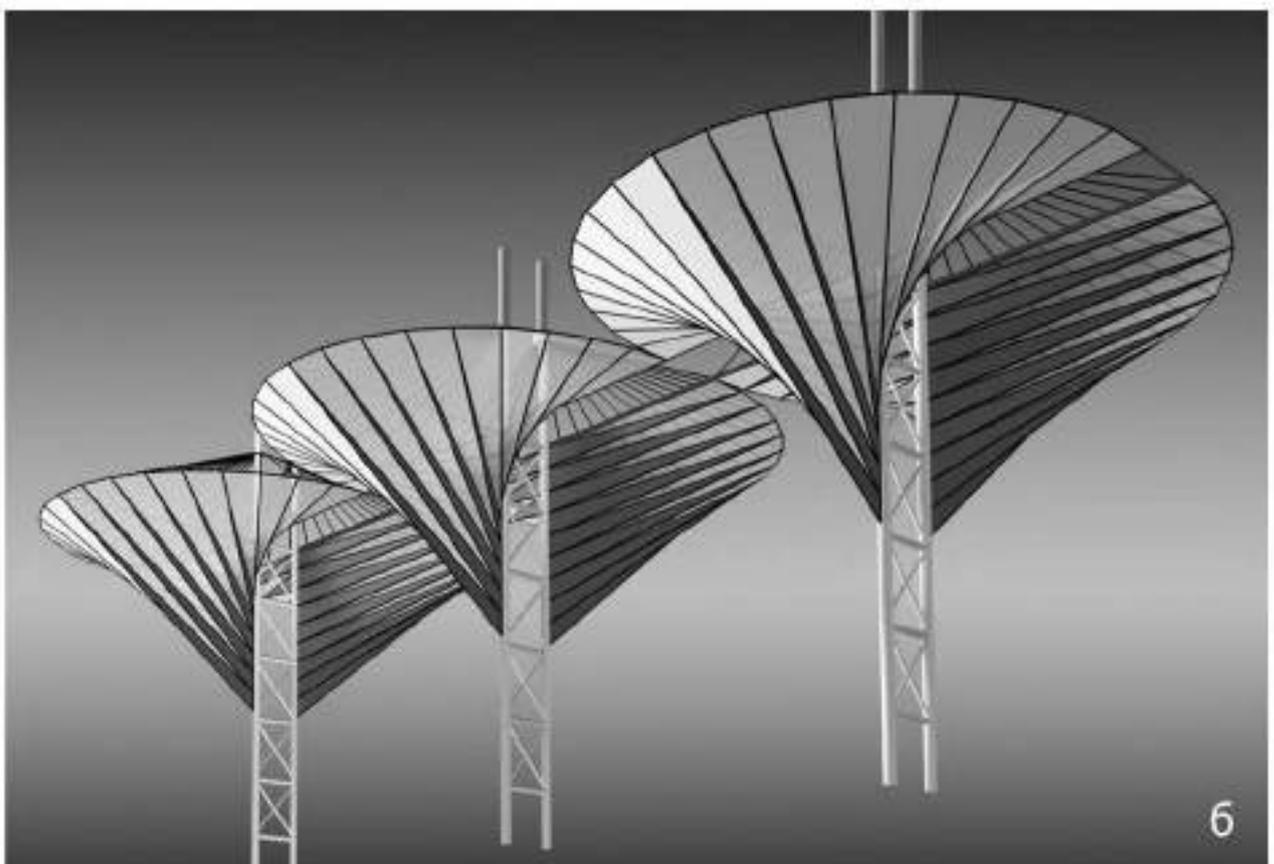


Рисунок 106 - Комплекс веерообразных/зонтичных тентовых оболочек на трубчатом решетчатом каркасе. Форма складчатых оболочек стабилизируется системой внутренних вантовых растяжек, вшитых в полотно. Комплекс может быть также реализован в обратном/перевернутом варианте. Автор разработки и рисунка Коротич А.В.



а



б

Рисунок 107 - Новые типы промышленных гидротехнических сооружений- водоохладителей/градирен, имеющих эффективную многозвенную водоохлаждающую форму внешних оболочек (первый тип), а также эффективную водоохлаждающую спирально-складчатую форму элемента внутренней структуры- оросителя (второй тип). Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

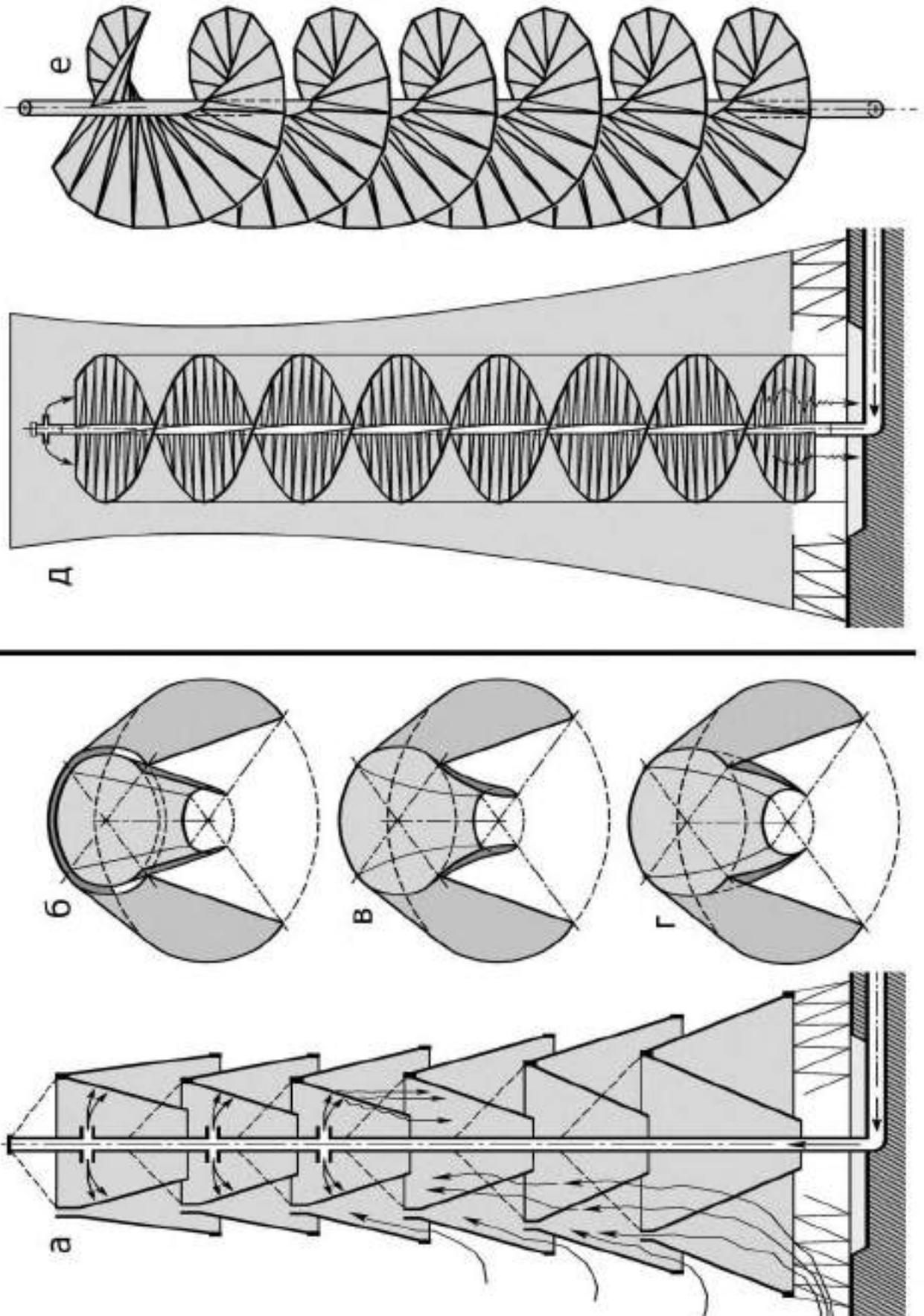


Рисунок 108 - Новые типы гидротехнических промышленных сооружений- водоохладителей/градирен и резервуаров/водонапорных башен, а также концептуальное предложение телевизионной башни, аппроксимирующей форму однополостного гиперболоида вращения на основе решетчатой/трубчатой спиральной структуры. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

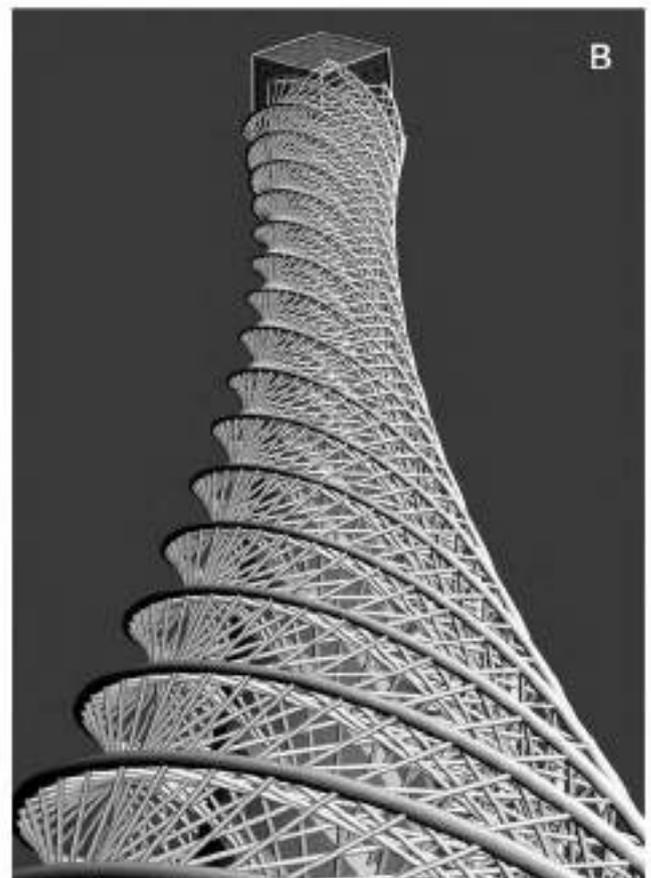


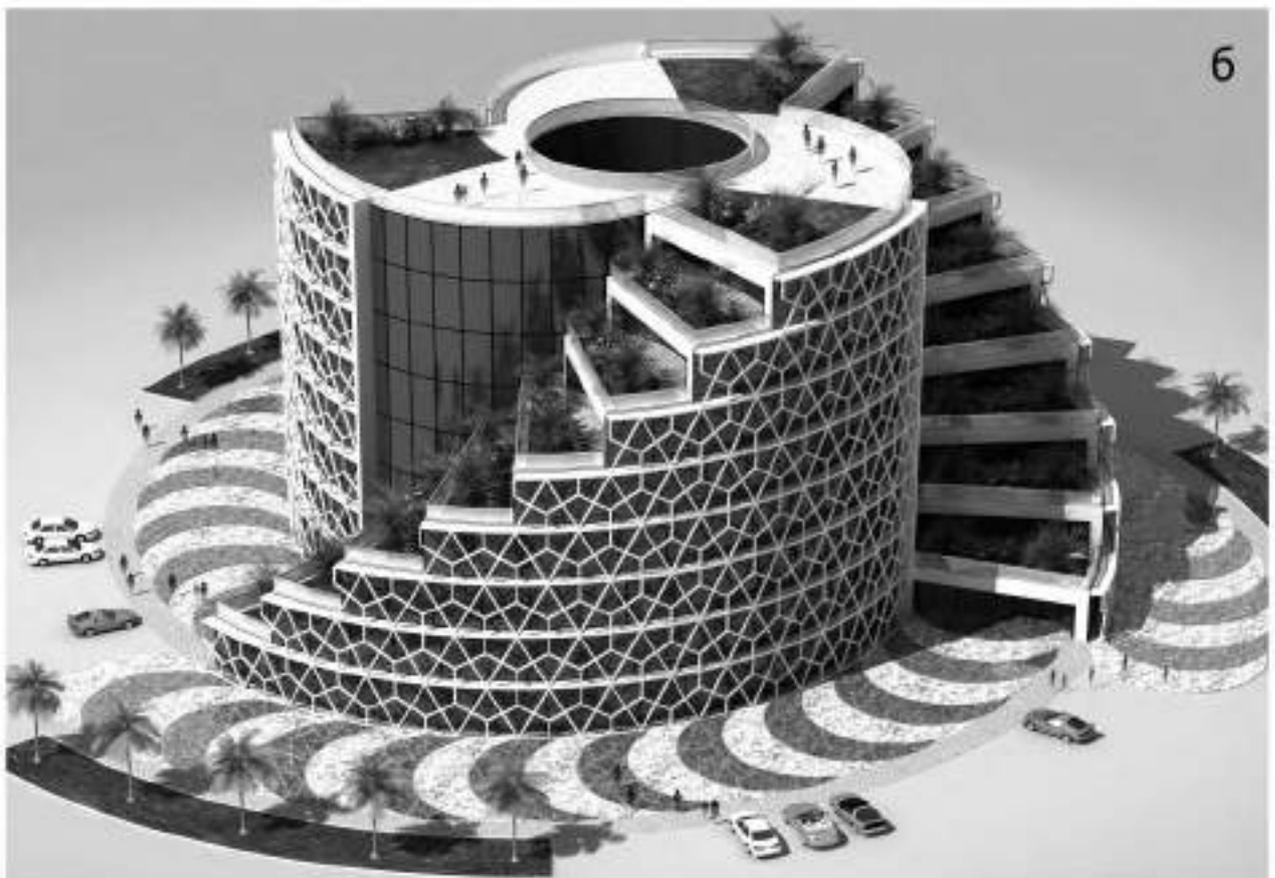
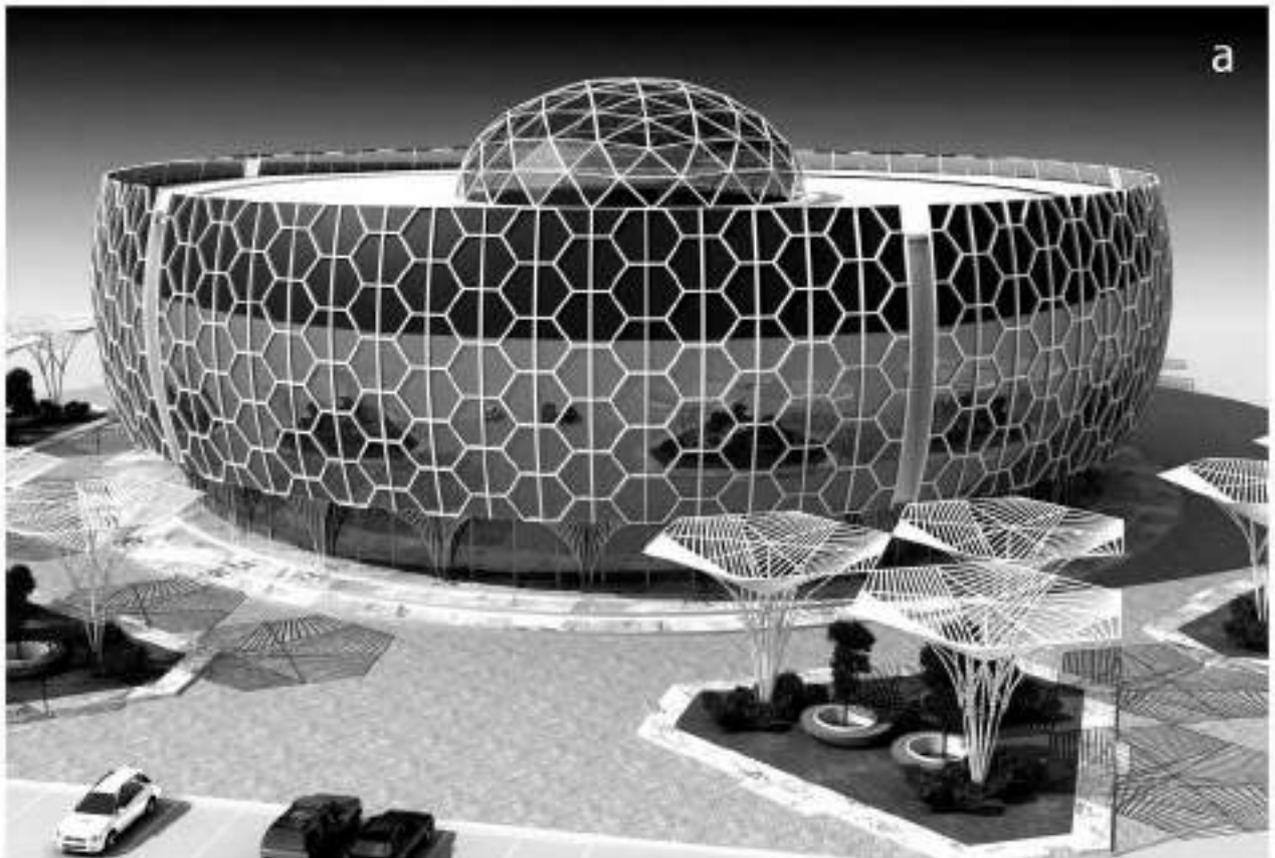
Рисунок 109 – Новые типы промышленных резервуаров-газгольдеров. Сферические оболочки сооружений имеют изодральную (равноэлементную) структуру и составлены из шестидесяти пятиугольных сферических отсеков, очерченных геодезическими линиями. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.



## регулярные дискретные структуры в дизайне фасадов общественных зданий

110

Рисунок 110 - Решетчатые структуры как основной художественно выразительный и технически эффективный элемент фасадов имиджевых зданий, повышающий их жесткость и позволяющий регулировать инсоляцию помещений. Решетчатые элементы фасадов зданий могут выполняться в композиционном взаимодействии со структурными модулями средового дизайна. Автор концептов зданий и рисунков Коротич А.В.



регулярные дискретные структуры  
в дизайне фасадов общественных зданий

111

Рисунок 111 - Фасады имиджевых объектов, образованные модулями-оболочками с криволинейными очерковыми линиями. Клиннообразные козырьки стрельчатых цилиндрических оболочек позволяют регулировать внутренний инсоляционный режим помещений (а). Складчатая поверхность тентовых оболочек сооружения (б) формируется системой вант-растяжек, а также трубчатыми дугами каркаса. Автор концептов и рисунков Коротич А.В.



Рисунок 112 - Акцентирующие пластические элементы фасадов. Ритмически расположенные одинаковые остроугольные оболочки-гилары с линейным графическим оформлением поверхности (а) и регулярная сотовая структура фасадов из множества шестиугольных ячеек, очерченных складчатыми ребрами (б) - основные художественно выразительные и технически эффективные детали зданий. Автор концептов и рисунков Коротич А.В.

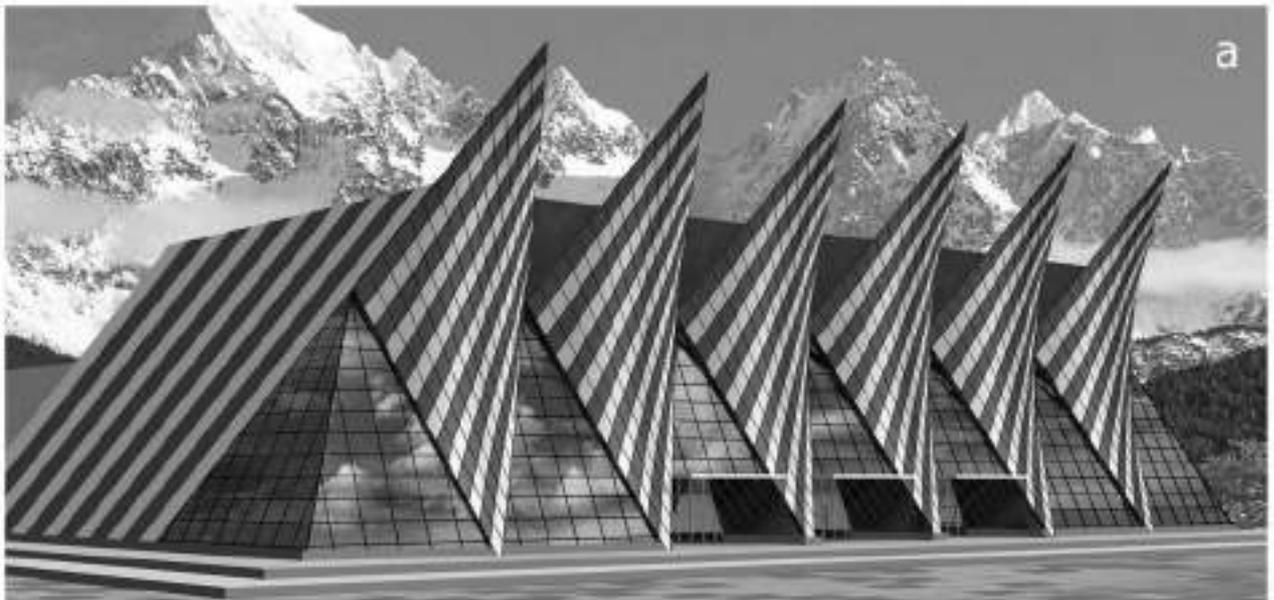


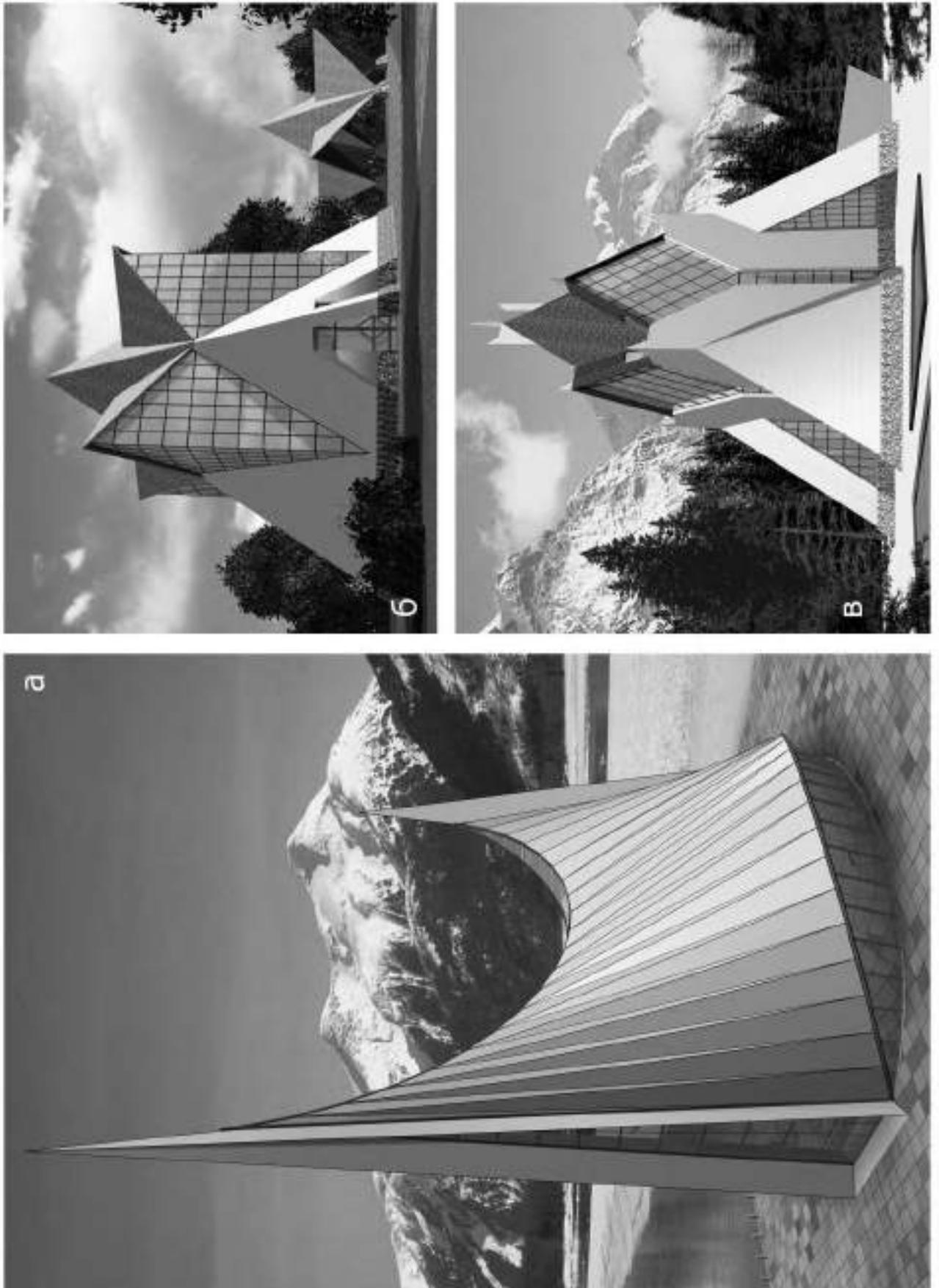
Рисунок 113 - Фасадные оболочки зданий с акцентирующими пластическими элементами. Выразительность решений определяется ступенчатой компоновкой призматических выступов, ярусы которых ритмично заглубляются в фасад, одновременно спускаясь от кровли к основанию (а), а также врезкой в главный фасад треугольных элементов с регулярной фрактально-ступенчатой структурой (б). Автор концептов и рисунков Коротич А.В.



Рисунок 114 - Фасады имиджевых индивидуальных жилых домов. Дизайн решений определяется ритмически расположенными многогранными остроугольными объемами с введенными элементами национальной стилистики (а), а также симметрично расположенными конусообразными оболочками, содержащими ленты наклонных витражей и остекленные вертикальные торцы (б). Автор концептов и рисунков Коротич А.В.



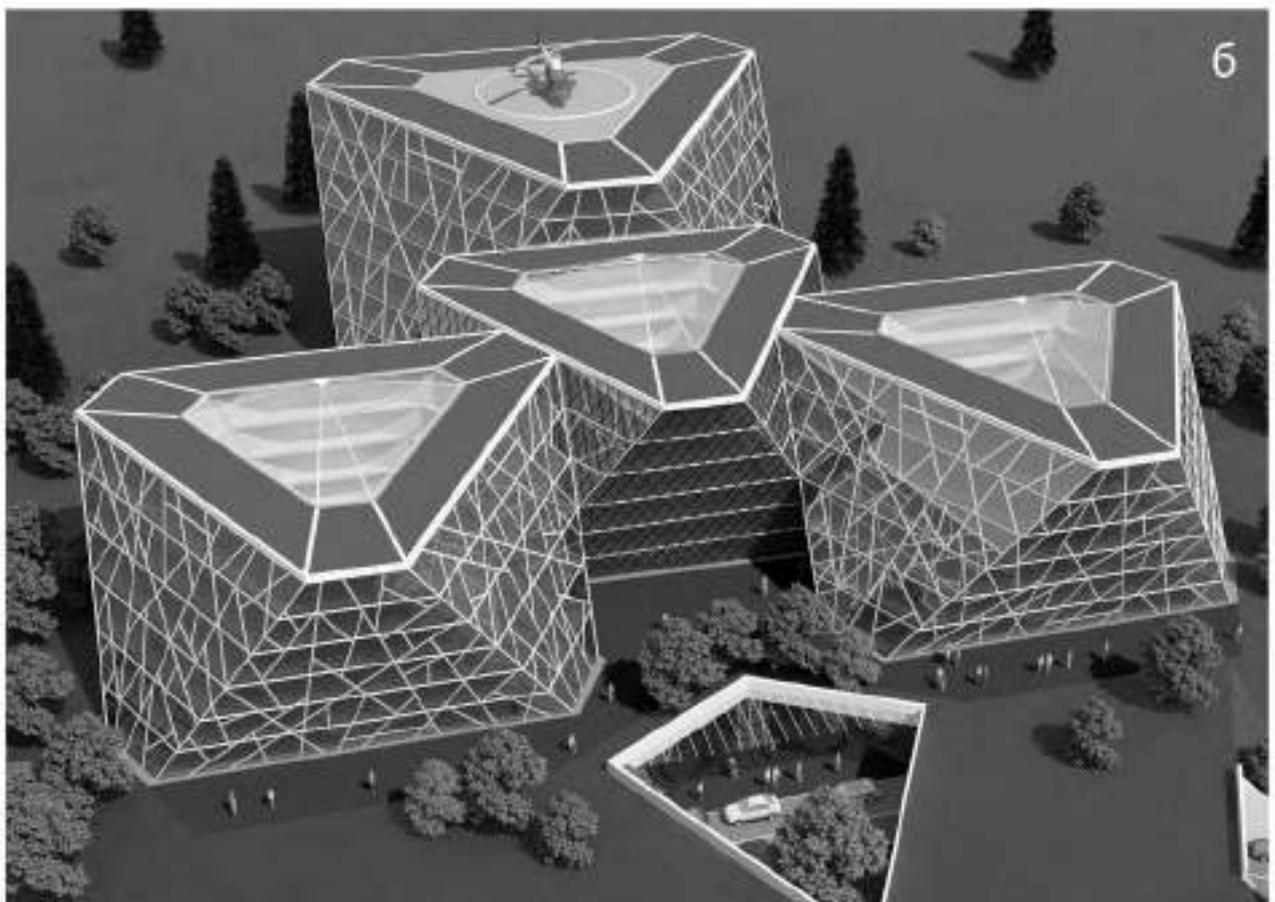
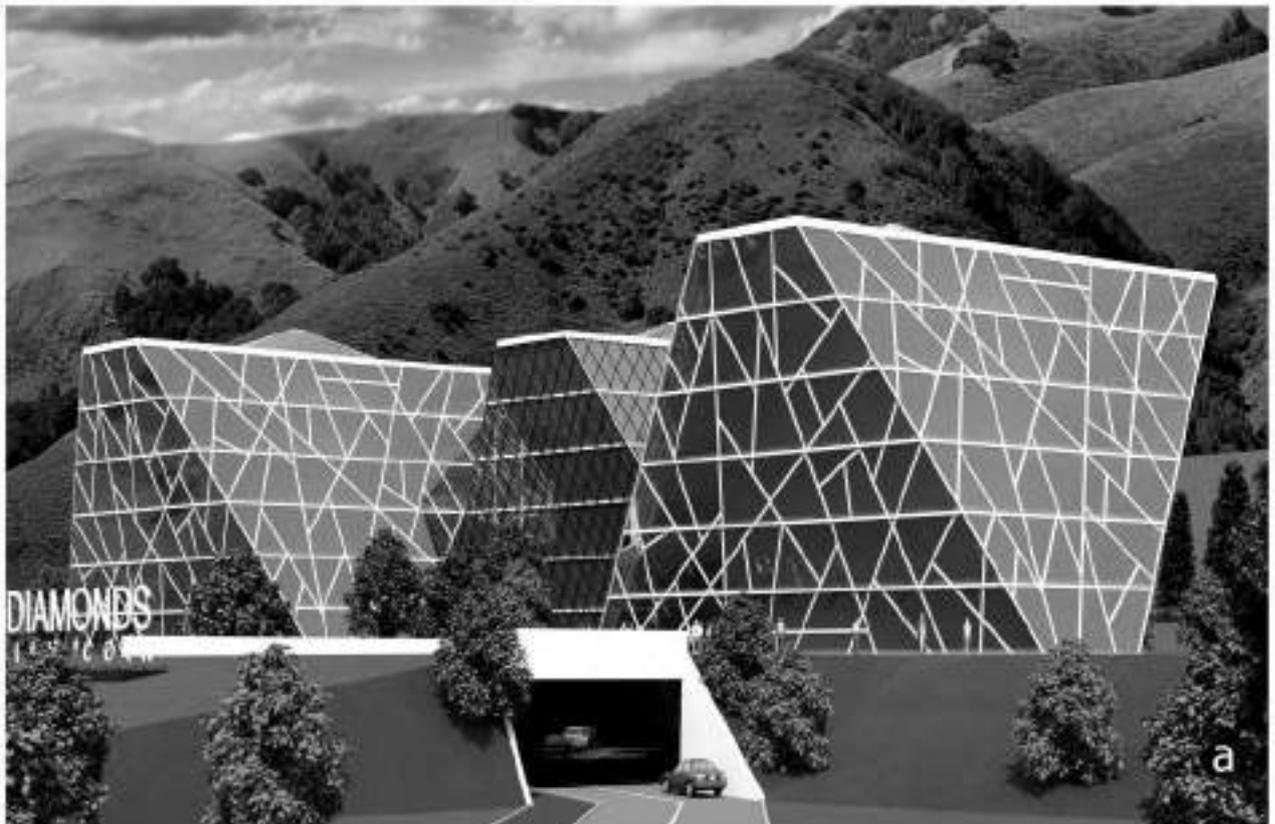
Рисунок 115 - Складчатые оболочки, полностью формирующие дизайн фасадов и покрытий одновременно. Так остроугольная двухскатная оболочка (а) состоит из двух зеркально симметричных складчатых цилиндридов и опирается на основание всего в четырех точках. Многогранные оболочки (б,в) образованы путем переменных усечений и пересечений пирамидальных и призматических объемов. Автор концептов и рисунков Коротич А.В.



регулярные дискретные структуры  
в дизайне фасадов общественных зданий

116

Рисунок 116 - Комплекс с кристаллографической архитектурой. Симметричная плоскогранная форма трех боковых объемов находится в композиционном контрасте с иррегулярной конструктивной структурой их фасадного остекления. При этом аналогичный по форме центральный объем комплекса имеет регулярную ромбическую разбивку остекленных фасадов. Автор Концепта и рисунков Коротич А.В.



регулярные дискретные структуры  
в дизайне фасадов общественных зданий

117

Рисунок 117 - Комплекс с гиперболическими фасадными оболочками. Профилированные конструкции стеклянных фасадов расположены по образующим гиперболических параболоидов, что определяет их высокую жесткость. Улучшенная аэродинамическая обтекаемость комплекса обеспечивается как формой криволинейных оболочек так и наличием сквозных проемов между зданиями. Автор концепта и рисунков Коротич А.В.

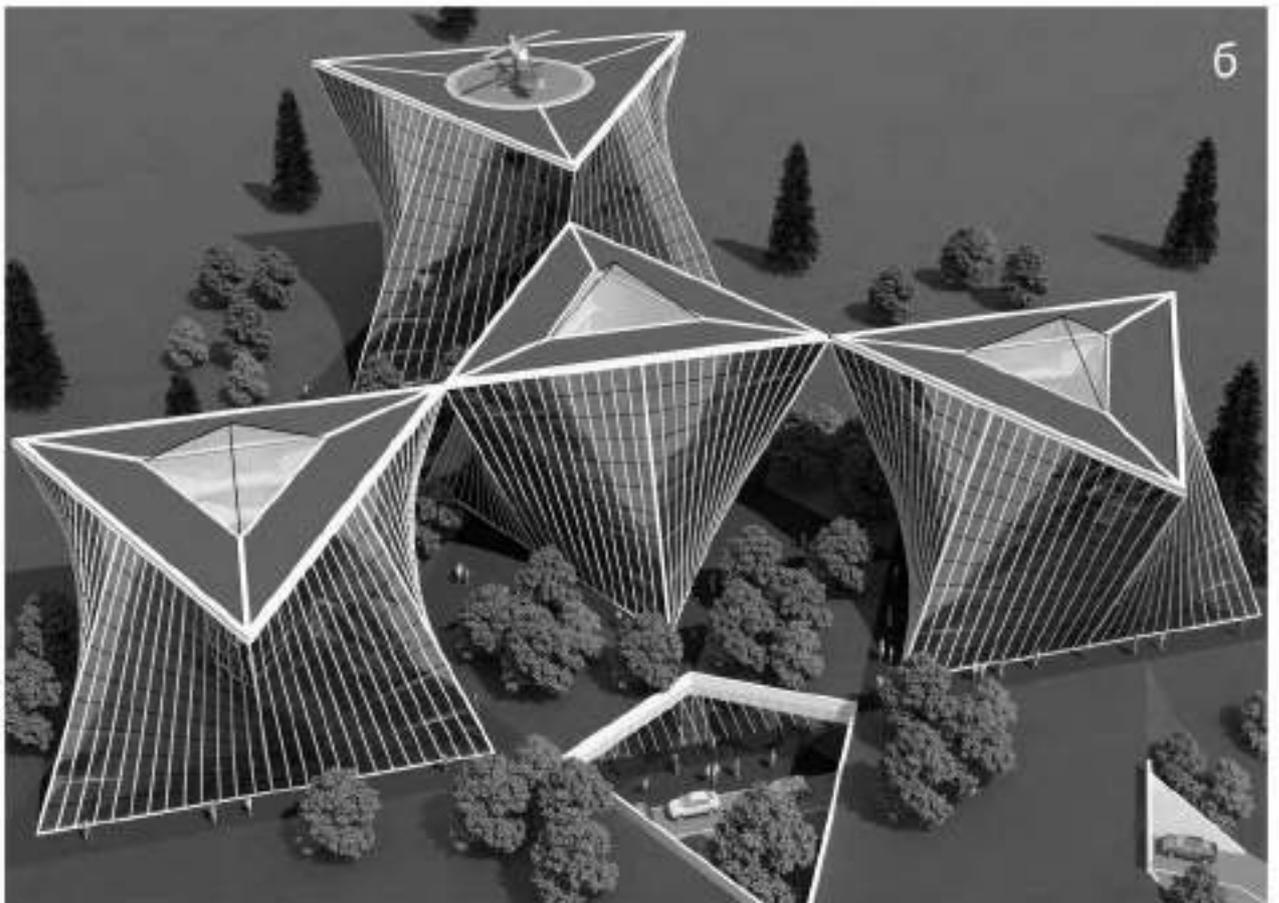
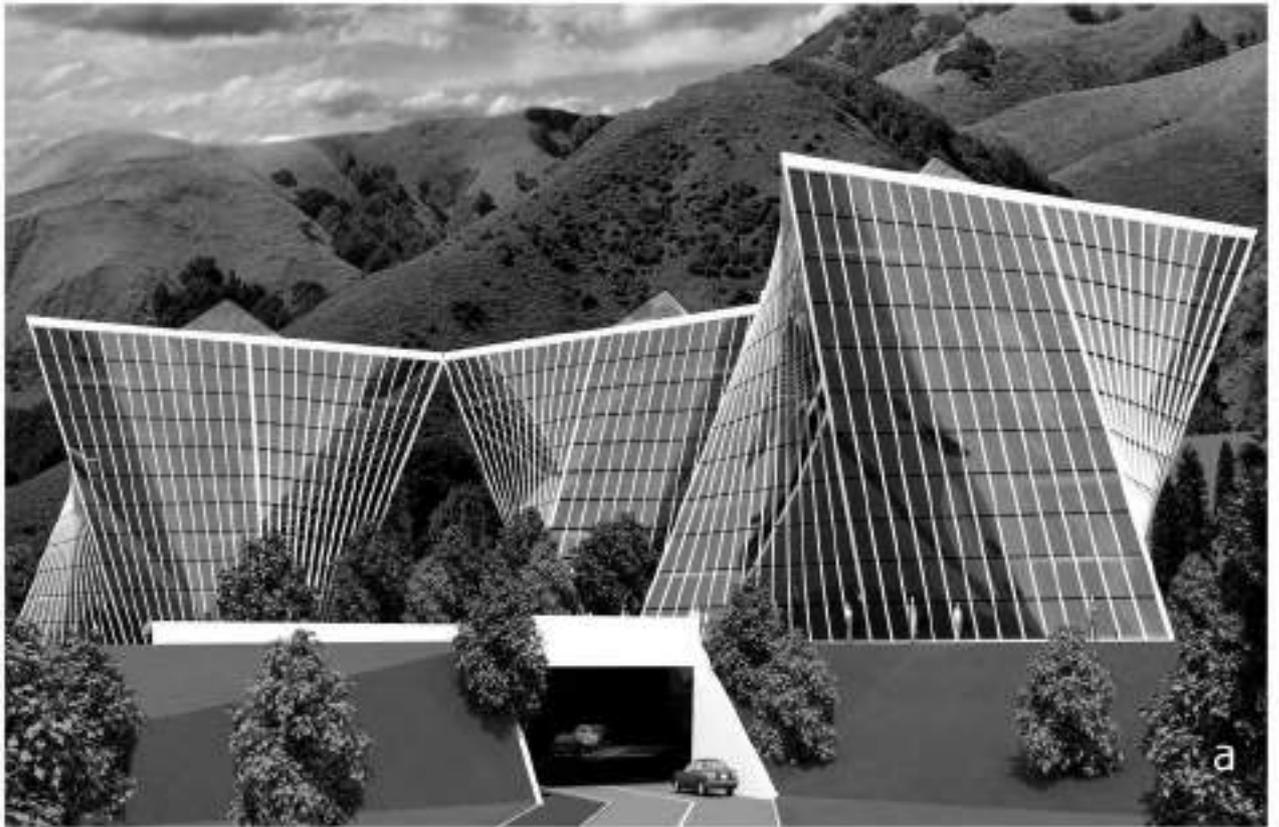


Рисунок 118 - Куполообразные и пирамидообразные составные строительные модули и сборные конструкции на их основе из оболочек формы четырехугольных отсеков гиперболического параболоида и геликоида, в т.ч. имеющие в своей структуре центральное осевое ребро. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

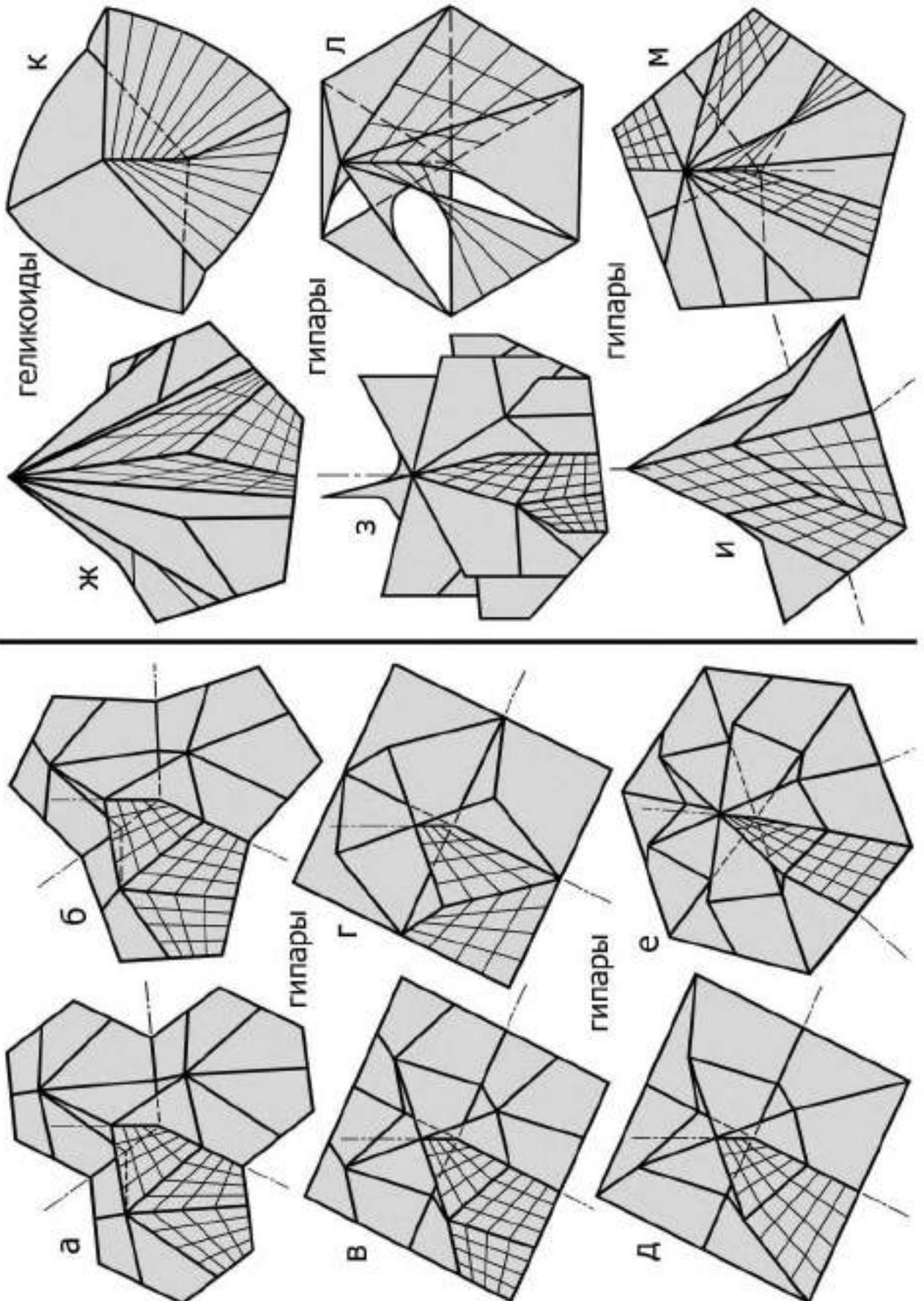


Рисунок 119 - Составные строительные модули из оболочек в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида, а также образованные на их основе однослойные двухъярусные структурные плиты, имеющие различную конфигурацию противоположных ячеистых поясов. Автор разработок и рисунков Коротин А.В.

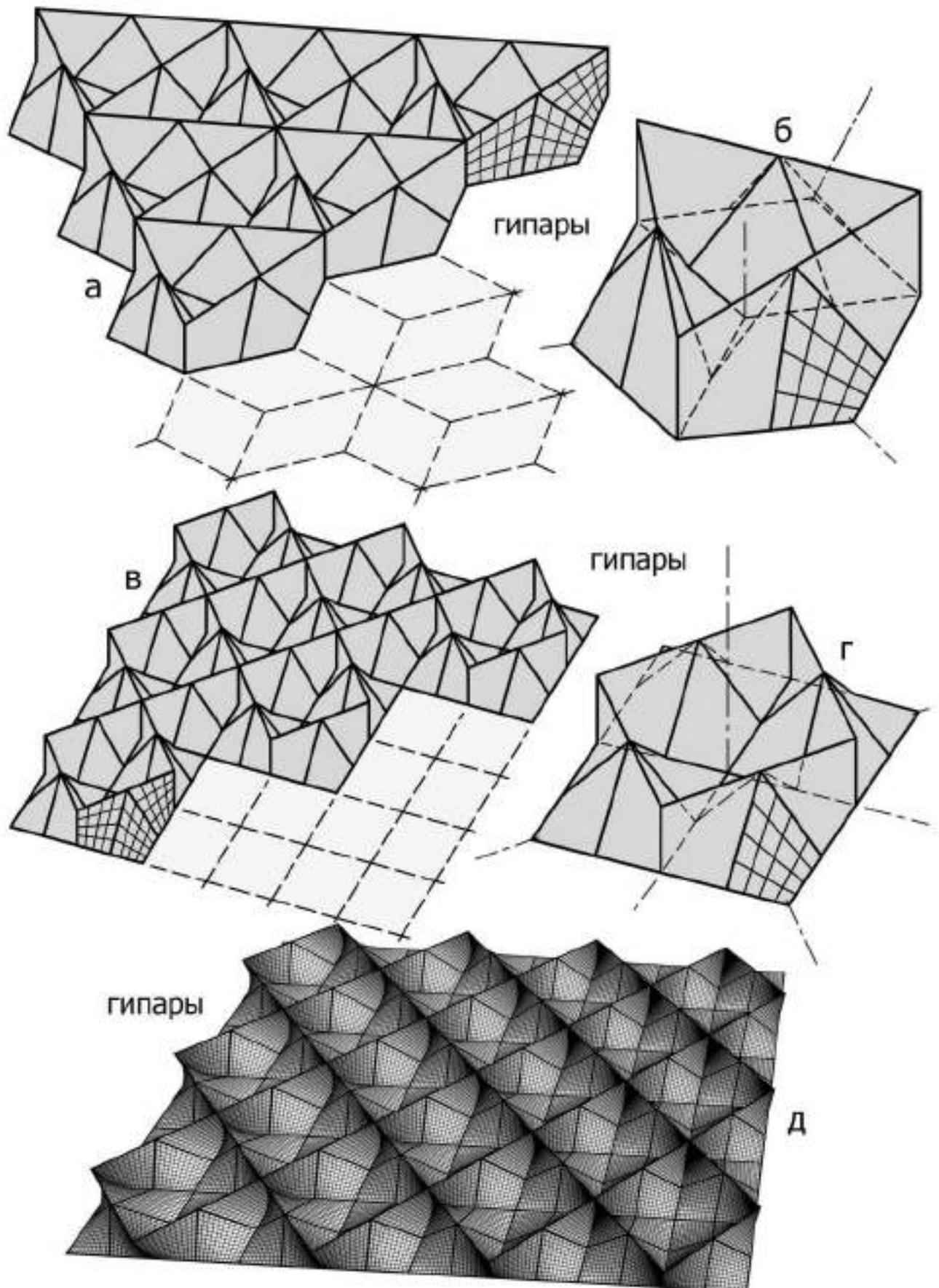


Рисунок 120 - Составные строительные модули из оболочек в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида, а также образованные на их основе двухслойные трехлопастные структурные плиты, имеющие одинаковую конфигурацию противоположных ячеистых поясов. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

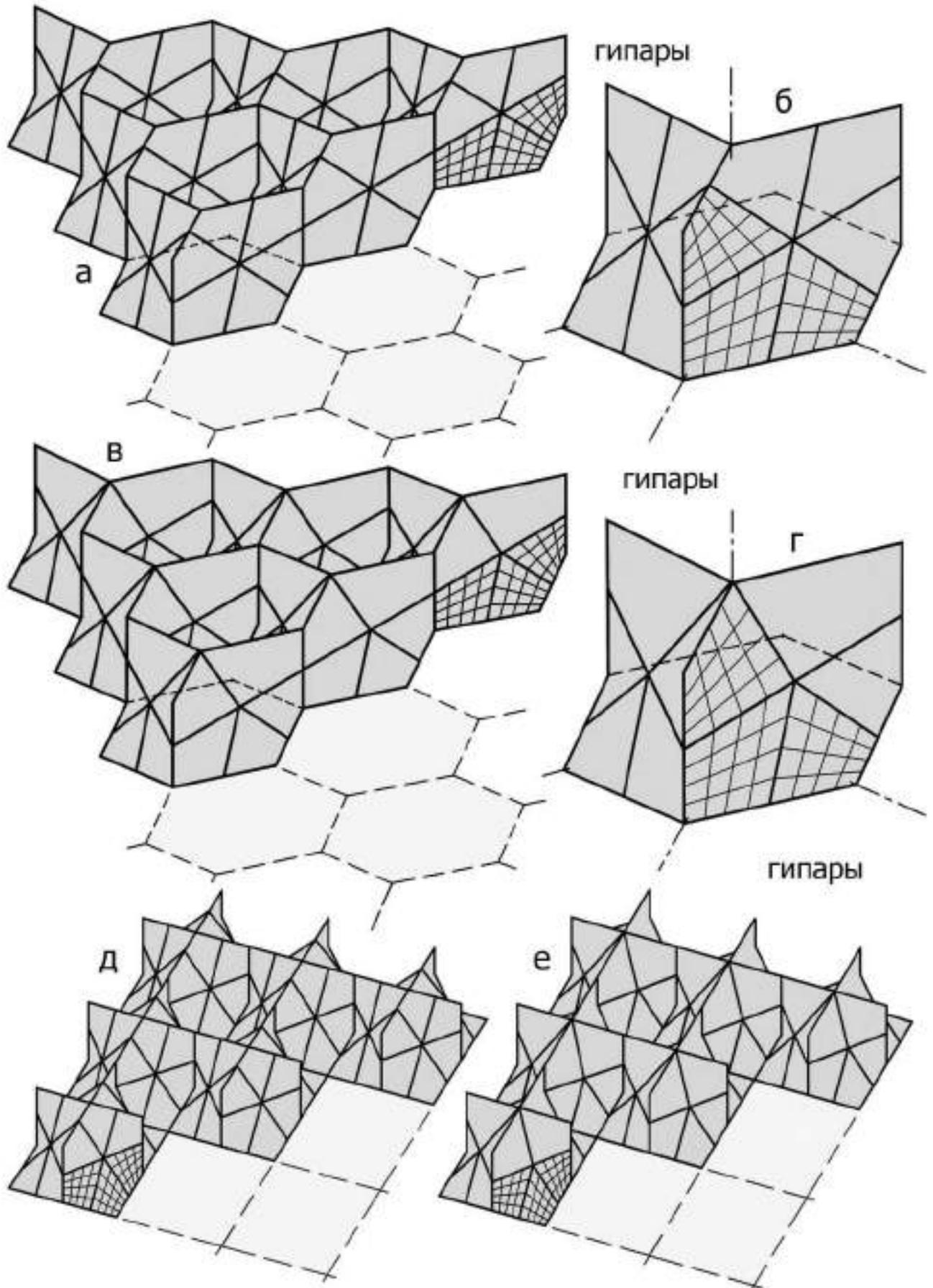


Рисунок 121 - Составные строительные модули из оболочек в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида, а также образованные на их основе двухслойные трехслойные структурные плиты, имеющие различную конфигурацию противоположных ячеистых поясов. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

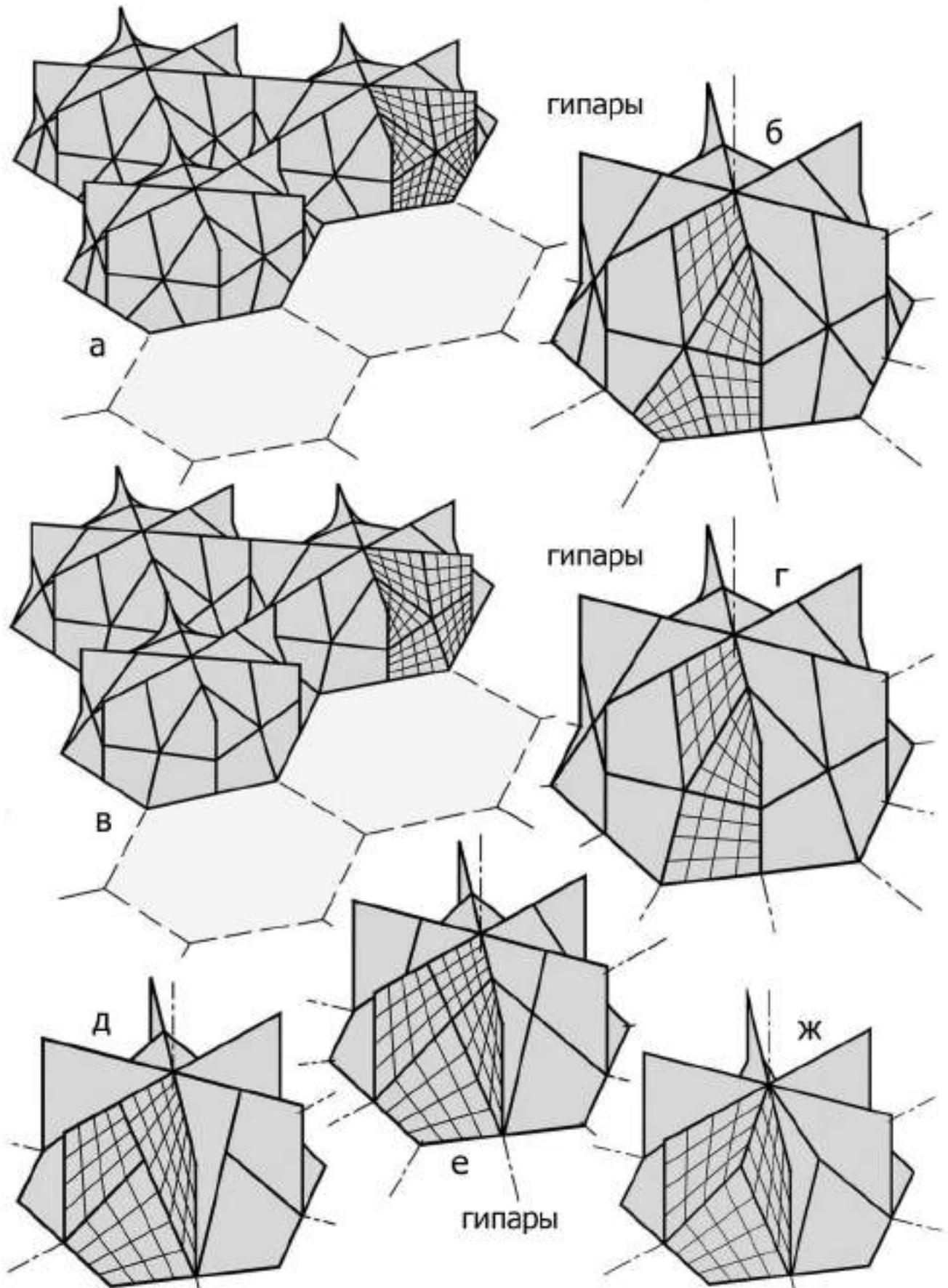


Рисунок 122 - Составные строительные модули из оболочек в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида, а также образованные на их основе двухслойные трехслойные структурные плиты, имеющие усиленный срединный пояс и один из слоев с дополнительными гиперболическими оболочками.  
Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

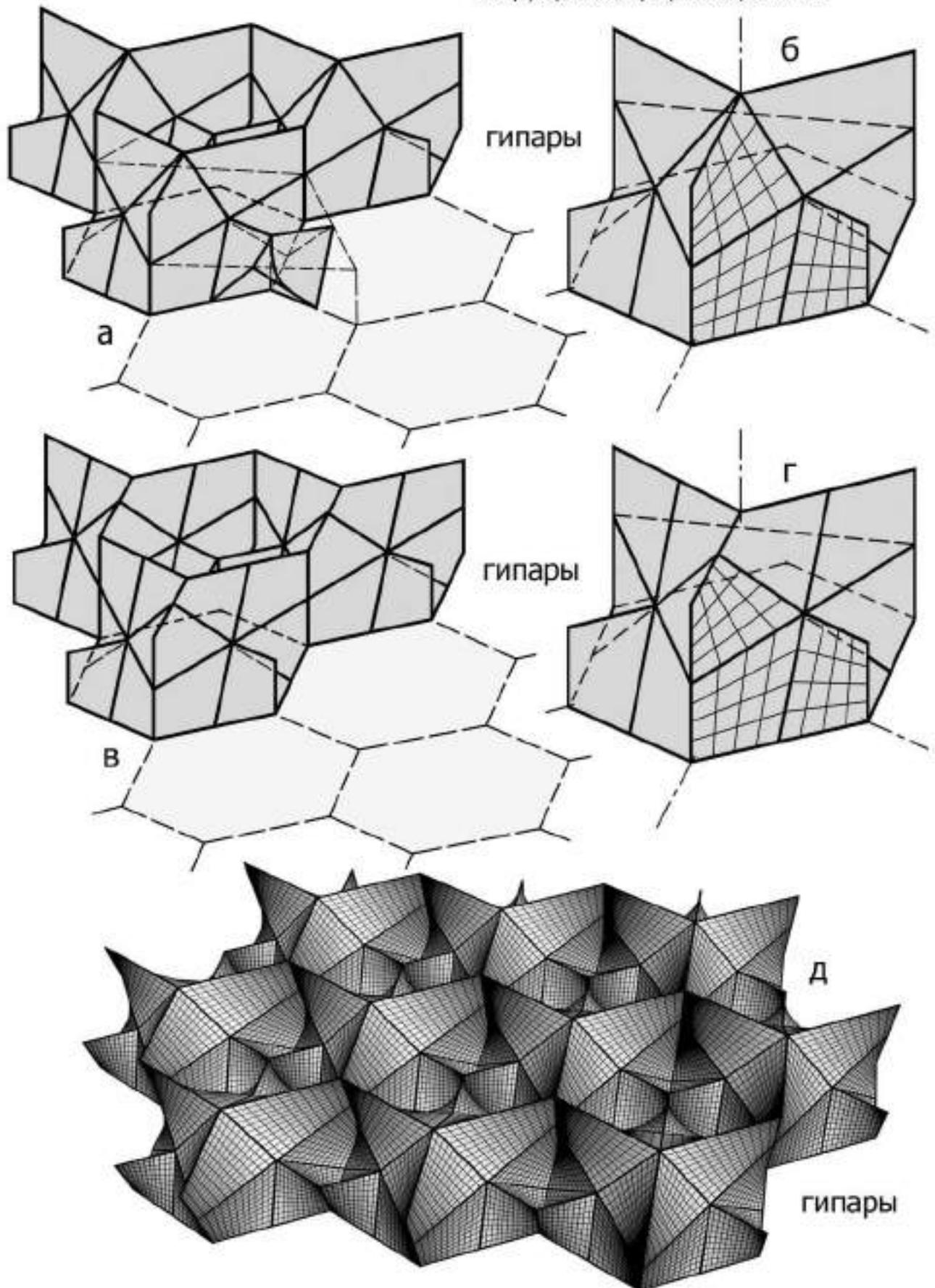


Рисунок 123 - Составные строительные модули из оболочек в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида, а также образованные на их основе двухслойные трехъярусные структурные плиты, имеющие усиленный срединный пояс и один из слоев с дополнительными гиперболическими оболочками. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

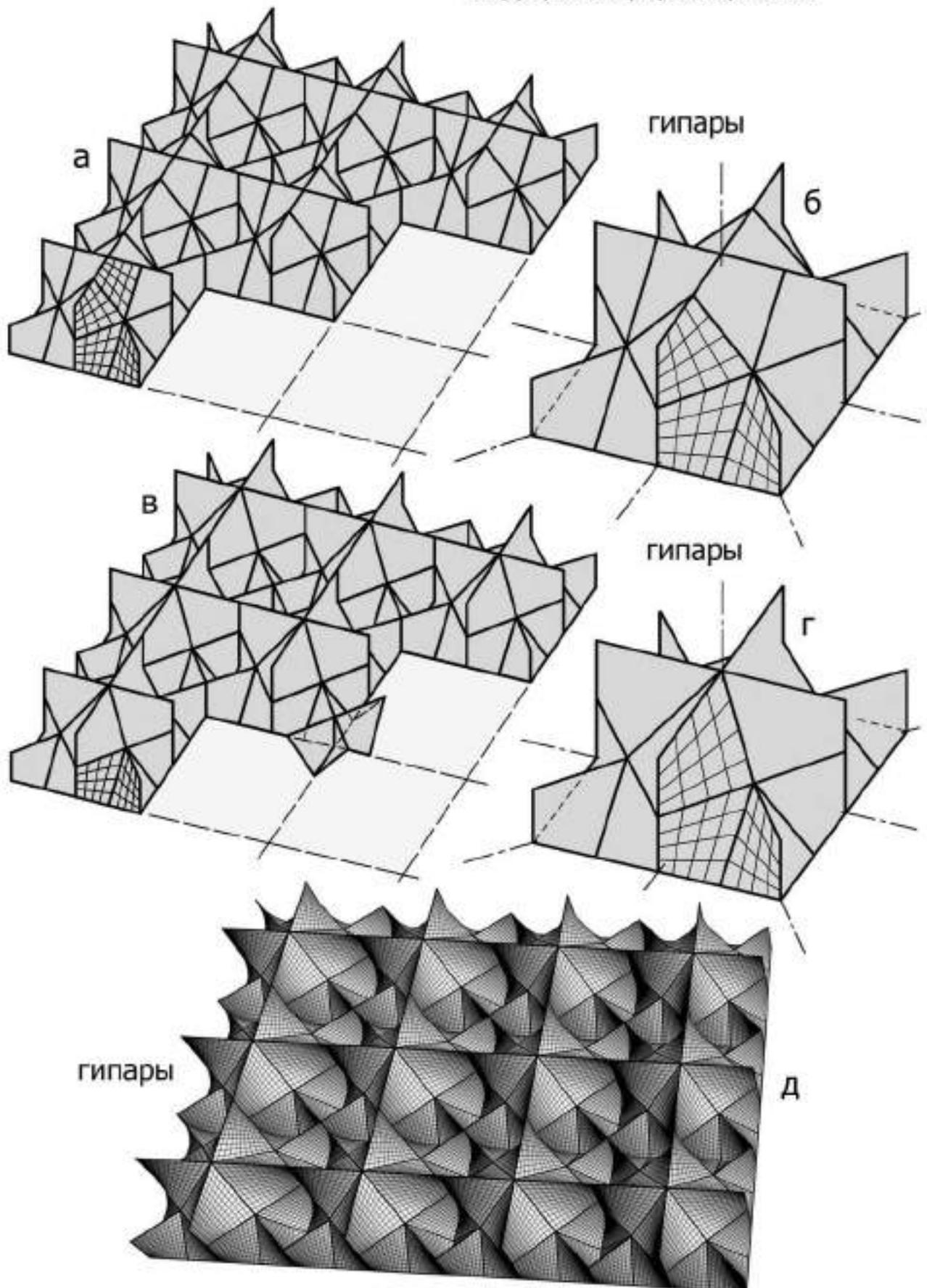


Рисунок 124 - Составные строительные модули из оболочек в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида, а также образованные на их основе двухслойные трехъярусные структурные плиты, имеющие усиленный срединный пояс и один из слоев с дополнительными гиперболическими оболочками.  
Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

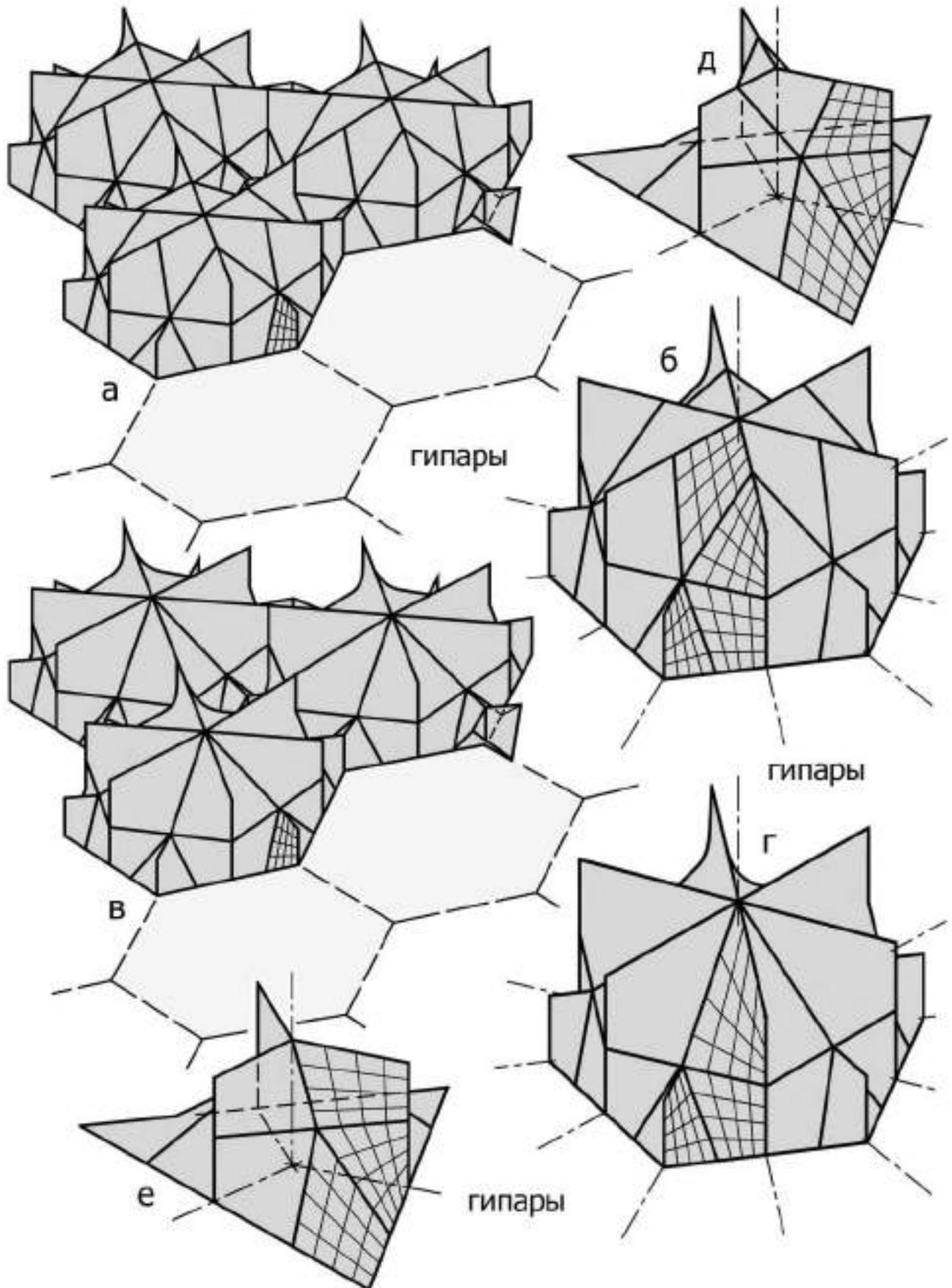


Рисунок 125 - Составные строительные модули из оболочек в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида, а также образованная на их основе двухслойная трехплоская структурная плита, имеющая усиленный срединный пояс и один из слоев с дополнительными гиперболическими оболочками. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

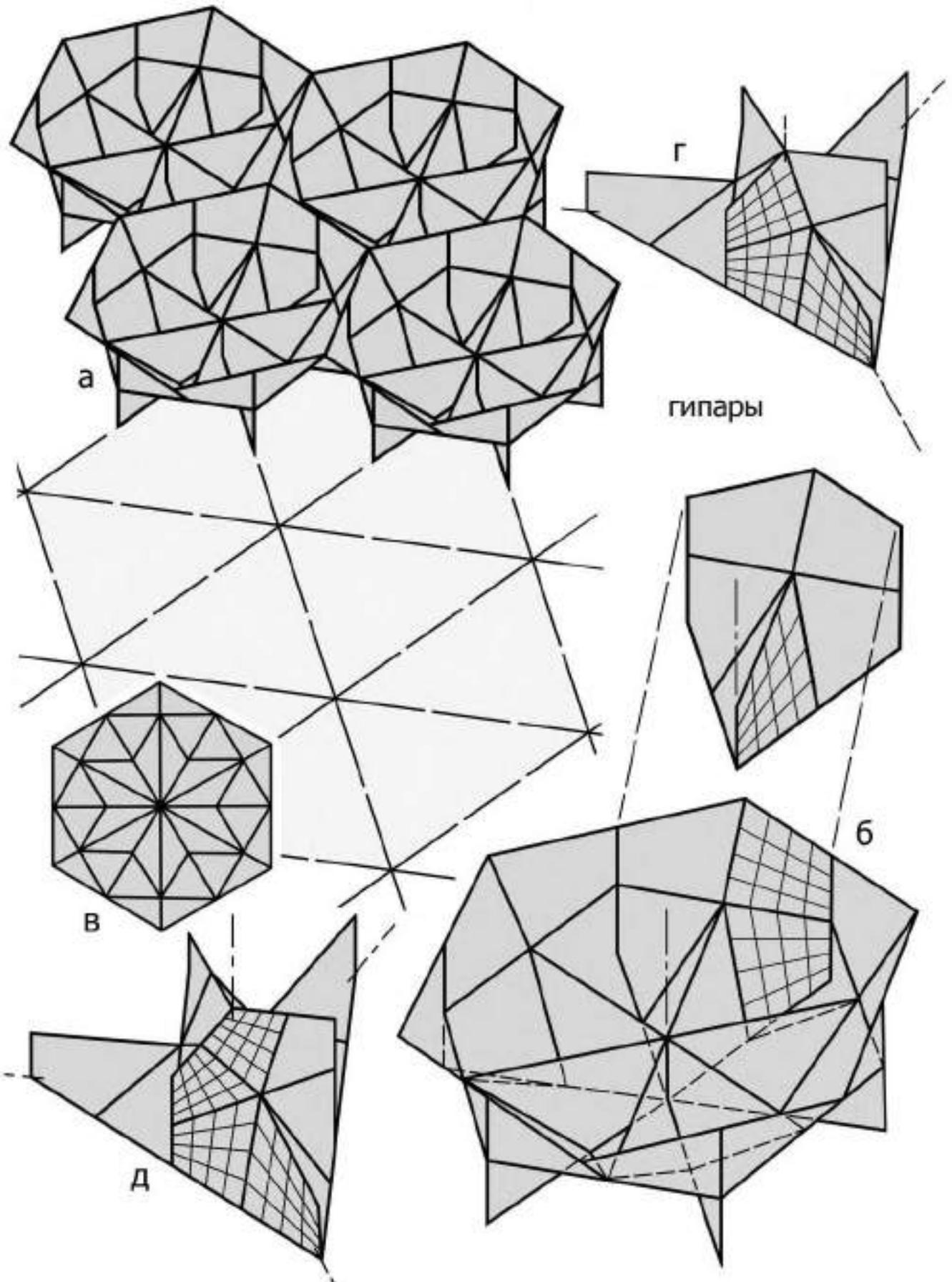


Рисунок 126 - Составные строительные пирамидообразные модули, имеющие звездчатую многолучевую конфигурацию из оболочек в виде четырехугольных отсеков гиперболического параболоида и коноида, а также образованные на их основе складчатые структуры. Возможные очертания модулей и схемы их компоновки в непрерывных/сплошных складчатых структурах. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

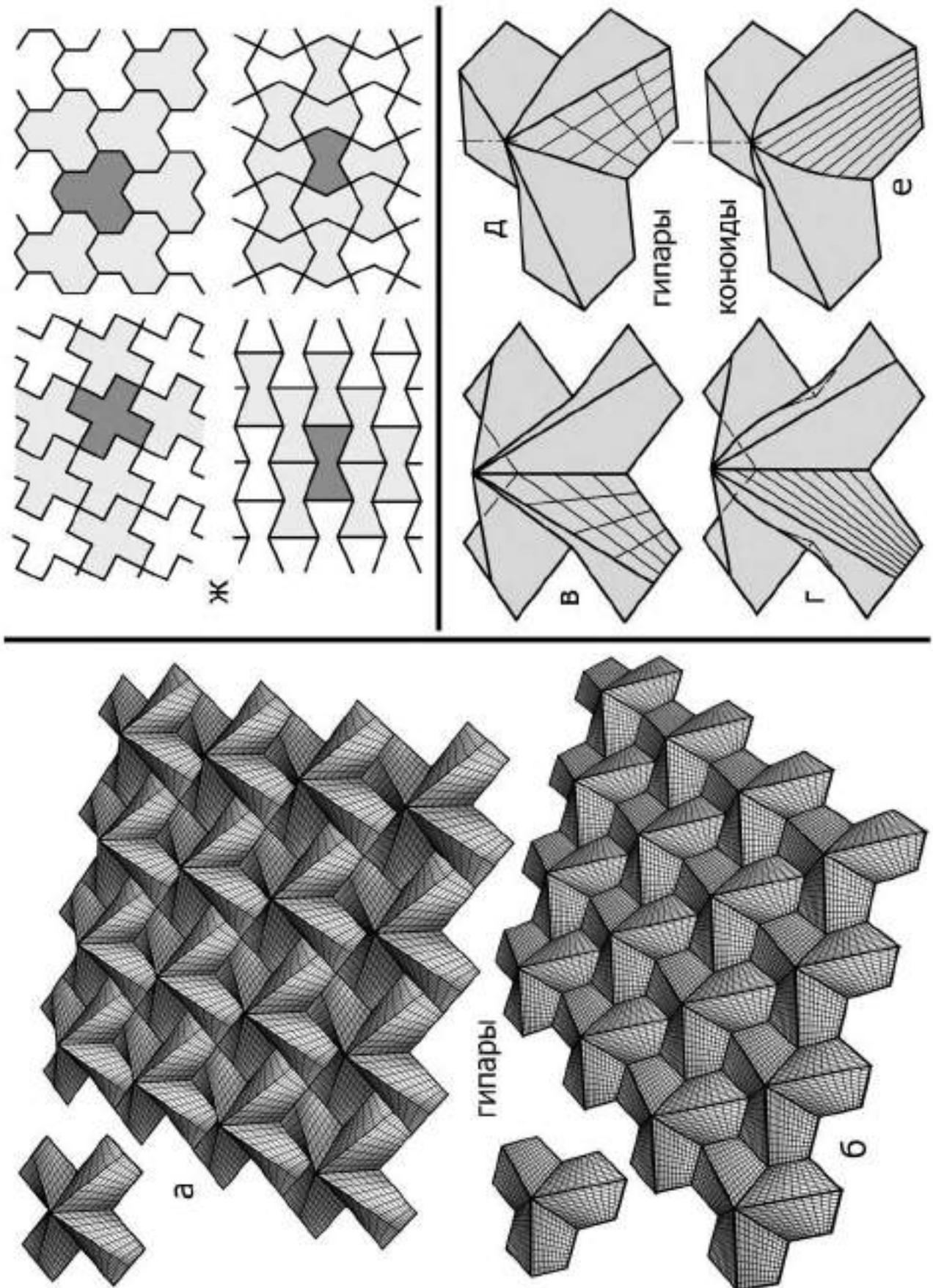


Рисунок 127 - Двухслойный строительный элемент из однотипных оболочек формы четырехугольных отсеков гиперболического параболоида, используемый в качестве блока составных трехлопастных структурных плит плоскостной, сводчатой или куполообразной конфигурации, блока многополюсных многослойных конструкций, а также опорных структур треугольного и звездчатого очертания. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

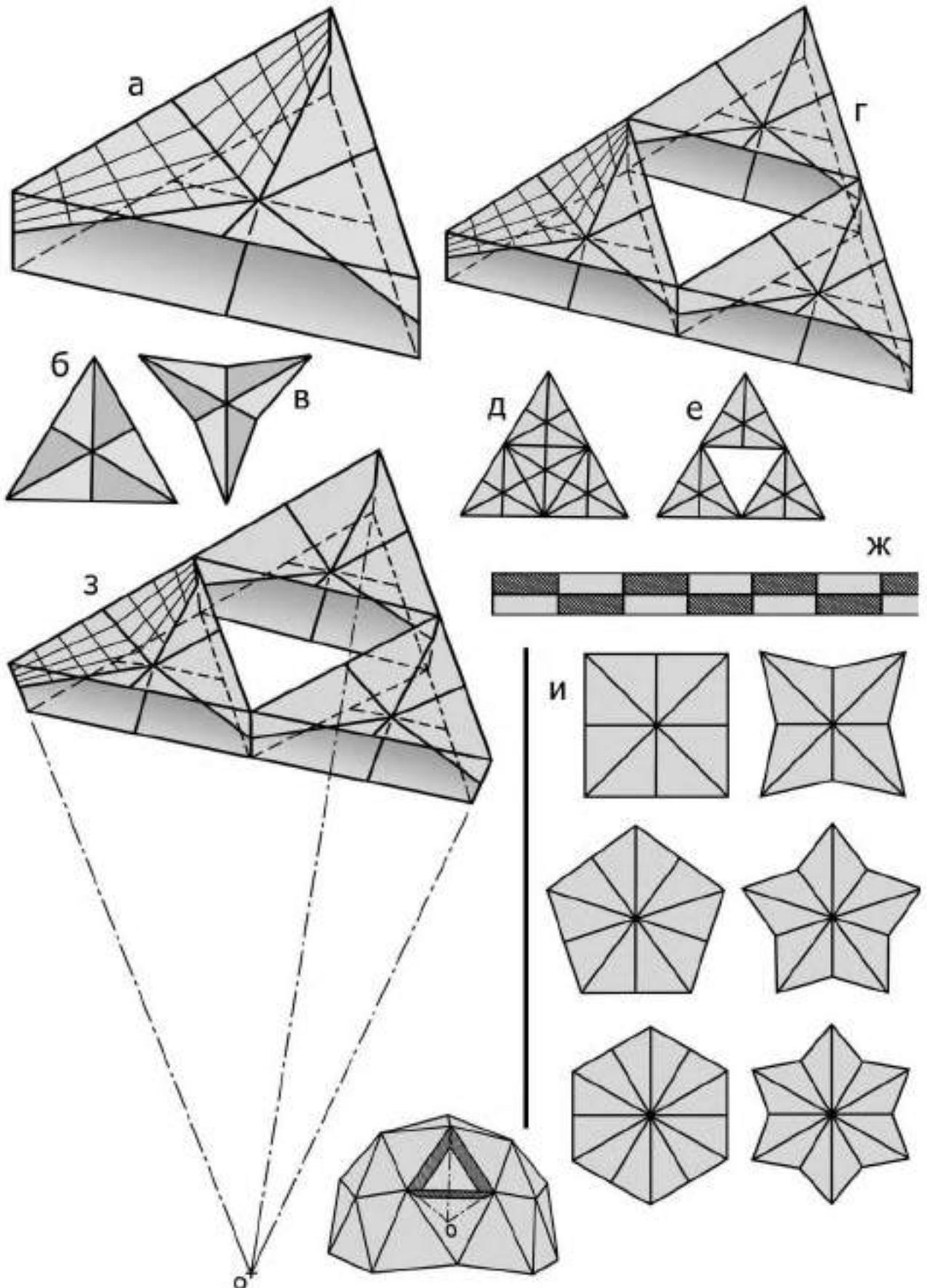


Рисунок 128 - Строительные элементы каркаса зданий (опоры, фермы) из оболочек формы гиперболического параболоида, а также формованных/гнуемых металлических профилей. Трансформирующийся звукорассеивающий акустический экран из четырехугольных гиперболических оболочек, соединенных врезкой по осевой образующей, и сборное сводчатое покрытие из оболочек-гипаров. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

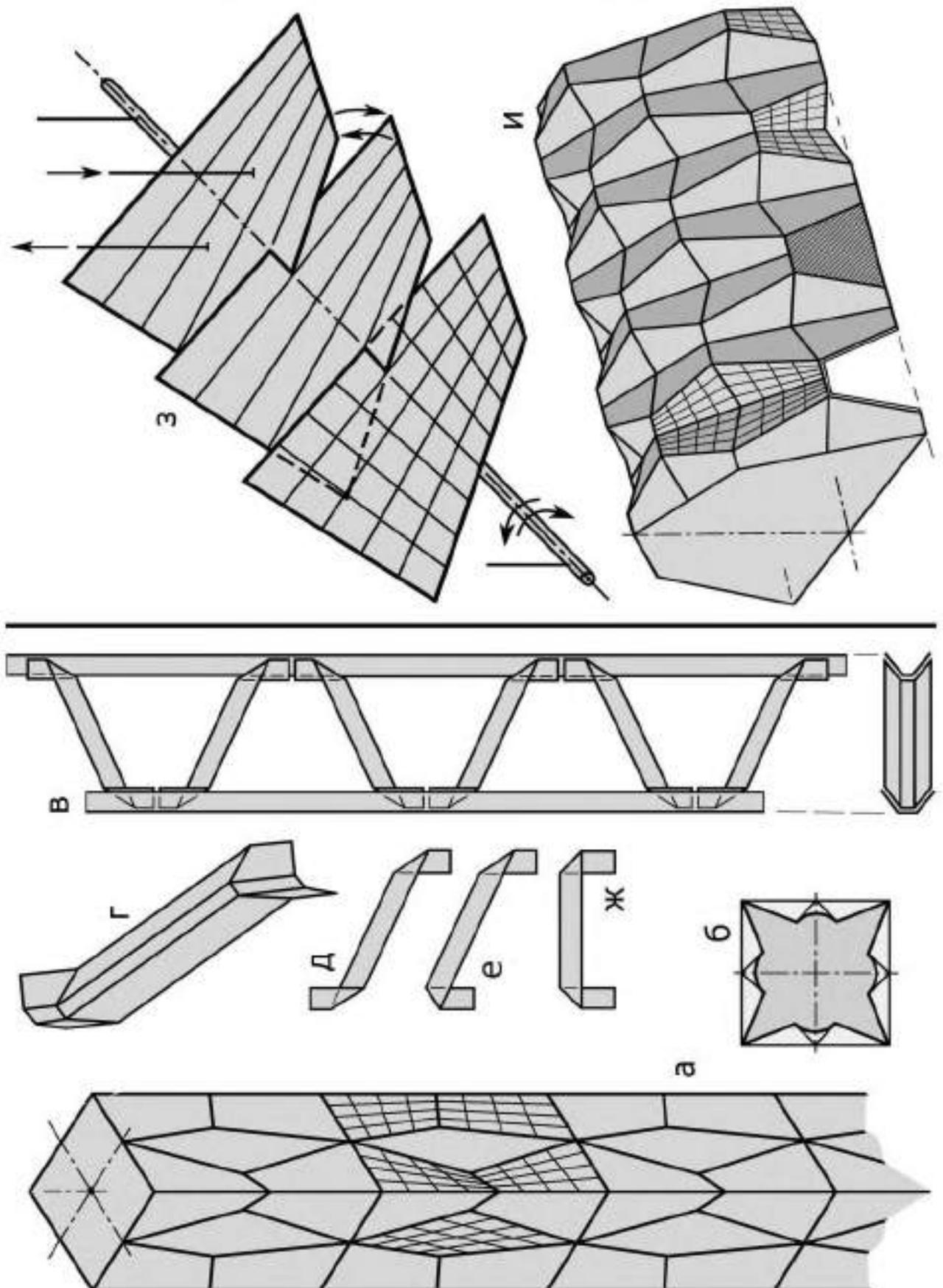


Рисунок 129 - Многолучевой звездчатый элемент каркаса зданий и сооружений (опорные конструкции, блоки двухслойных трехслойных решетчатых структур) из однотипных оболочек формы четырехугольных отсеков гиперболического параболоида. Сферообразный купол из шестидесяти идентичных оболочек-гипаров, состыкованных по схеме изобразительной сферической разбивки. Автор разработок и рисунков Корстич А.В.

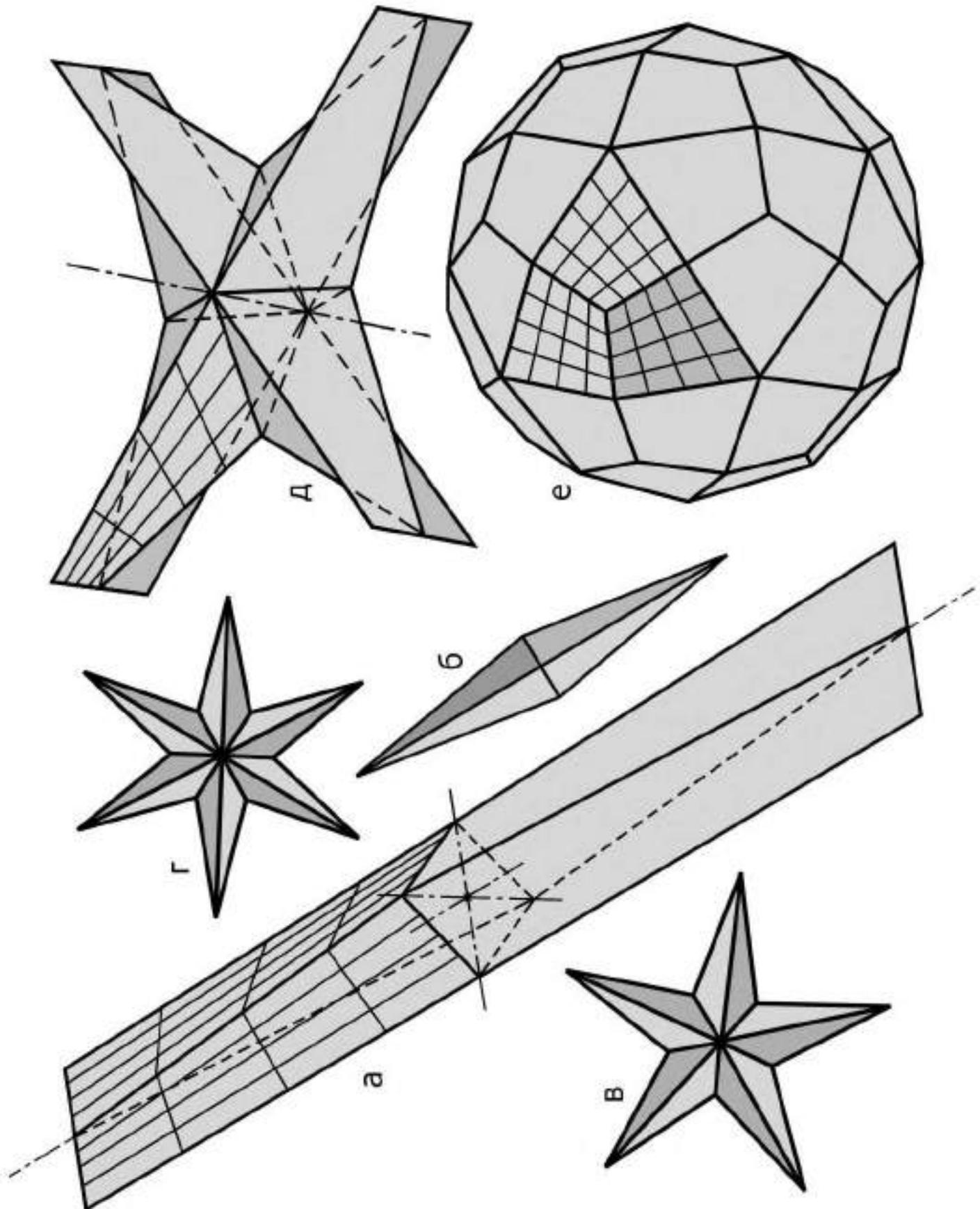


Рисунок 130 - Многогранные модули плотнейшего заполнения трехмерного пространства (плоскогранные и с фрагментами поверхности в виде четырехугольных линейчатых отсеков-гипаров), а также результирующие составные многомодульные структуры на их основе. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

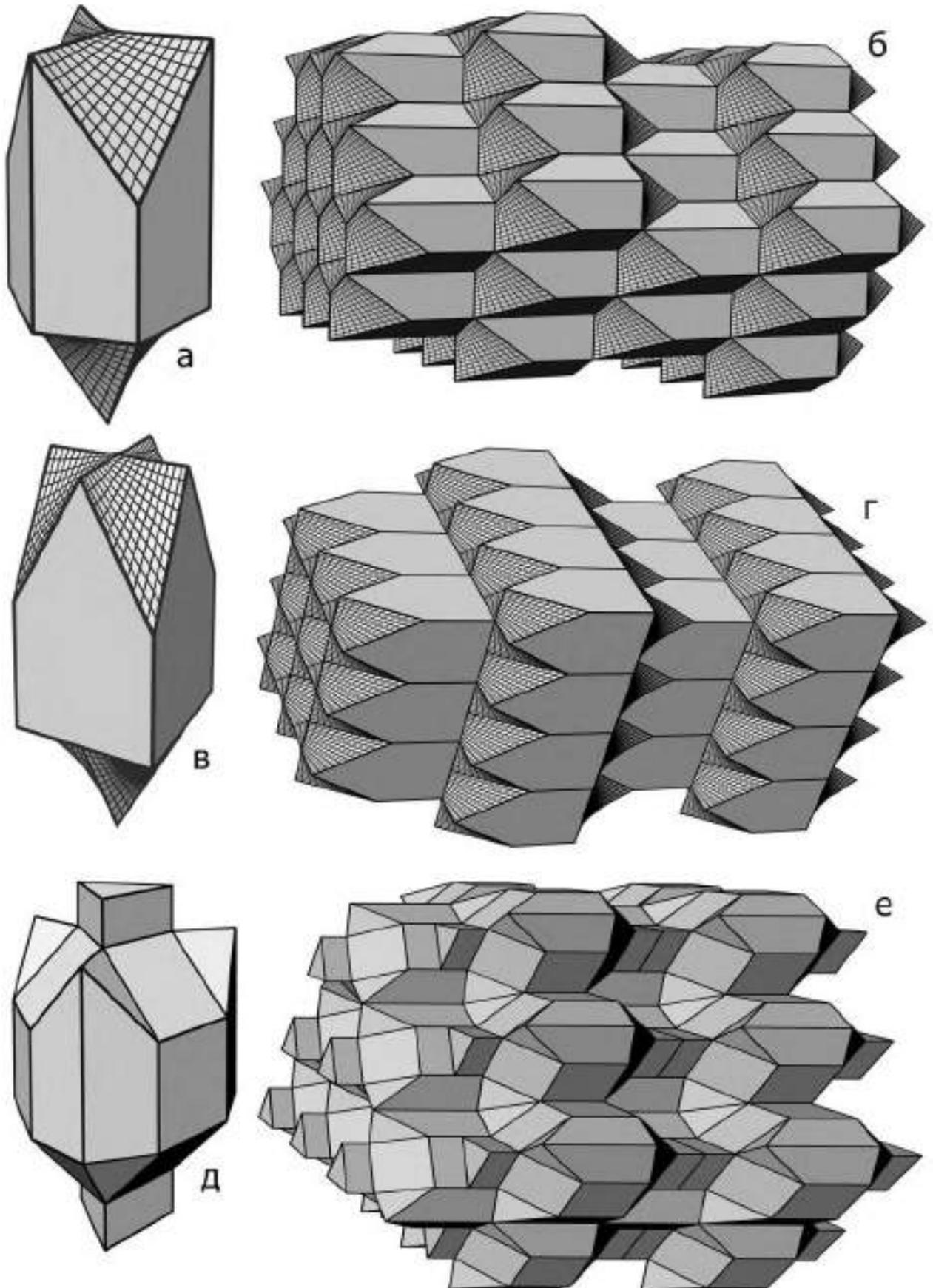


Рисунок 131 - Малые формы средового дизайна: звездчатая стелла/фирменный знак, аппроксимирующая форму линейчатого двадцатилучевого квазимногогранника (решетчатый вариант), а также уличная скульптура/постамент, имеющая очертание однополостного гиперболоида вращения с выраженным пластическим решением поверхности в виде дугообразных выступов. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

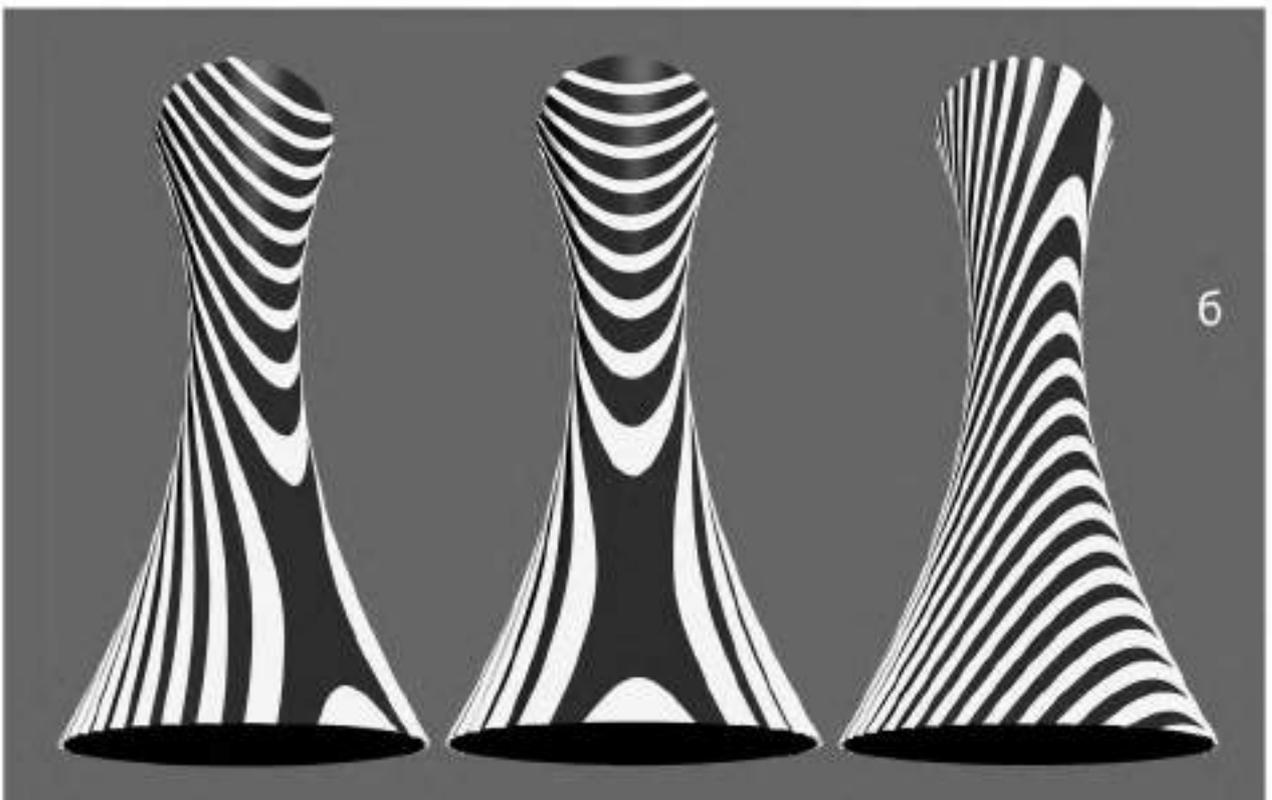


Рисунок 132 - Решетчатые/стержневые/трубчатые структуры, аппроксимирующие своими прямолинейными образующими сплошные криволинейные оболочки. Конурные линии структур могут быть прямолинейными, а также выполняться в виде плоских /неплоских дугобразных кривых (в т.ч. замкнутых). Легкость и жесткость - основные параметры их технической эффективности. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

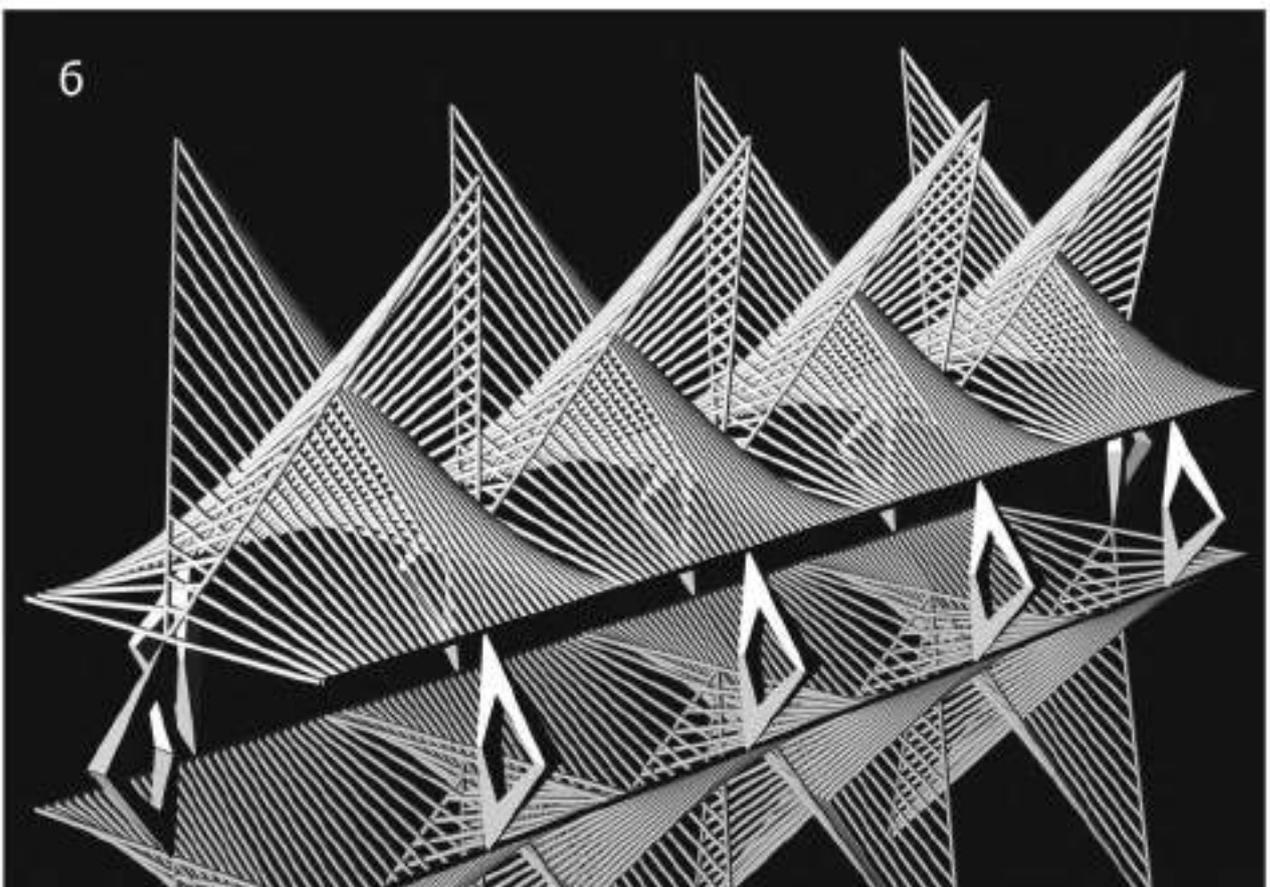
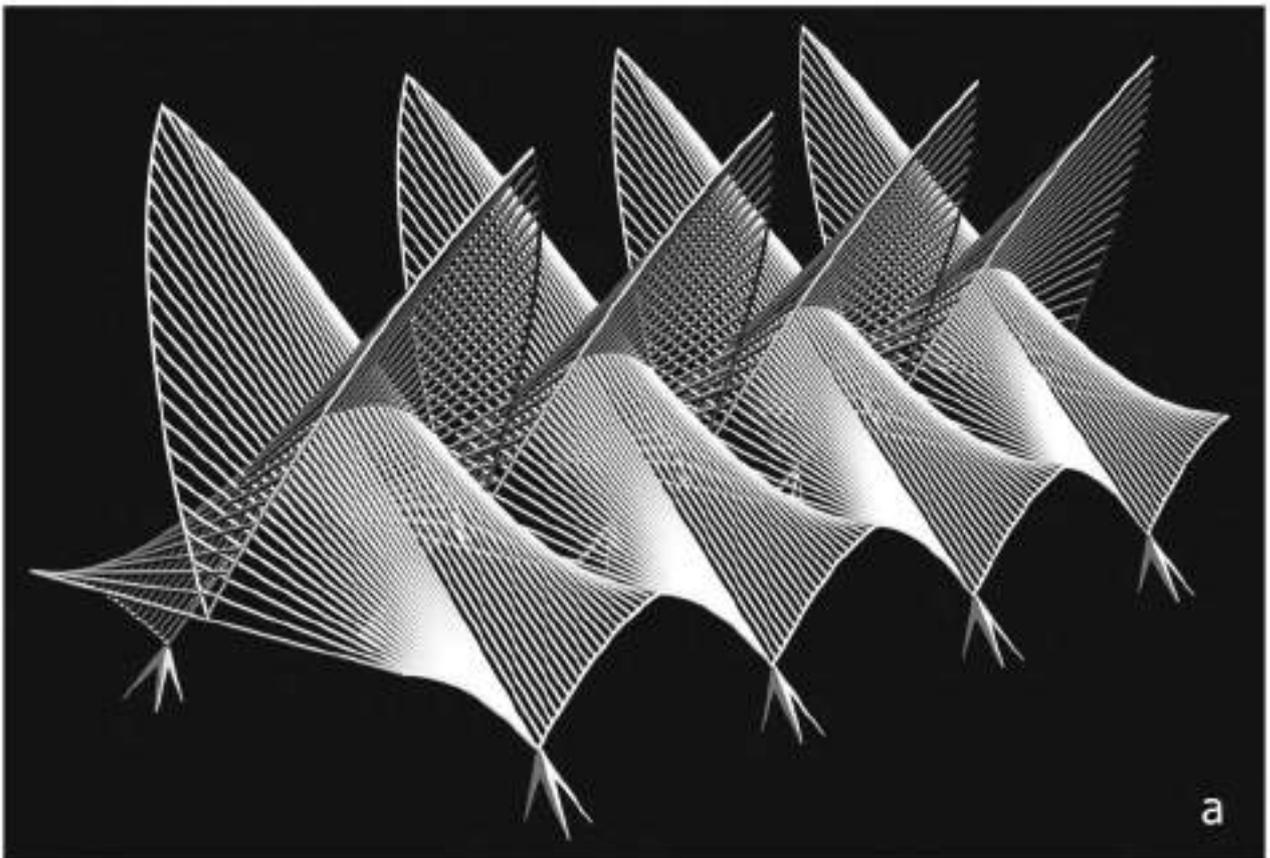


Рисунок 133 - Решетчатые/стержневые/трубчатые структуры, аппроксимирующие своими прямолинейными образующими сплошные криволинейные оболочки. Конурные линии структур могут быть прямолинейными, а также выполняться в виде плоских /неплоских дугобразных кривых (в т.ч. замкнутых). Легкость и жесткость - основные параметры их технической эффективности. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

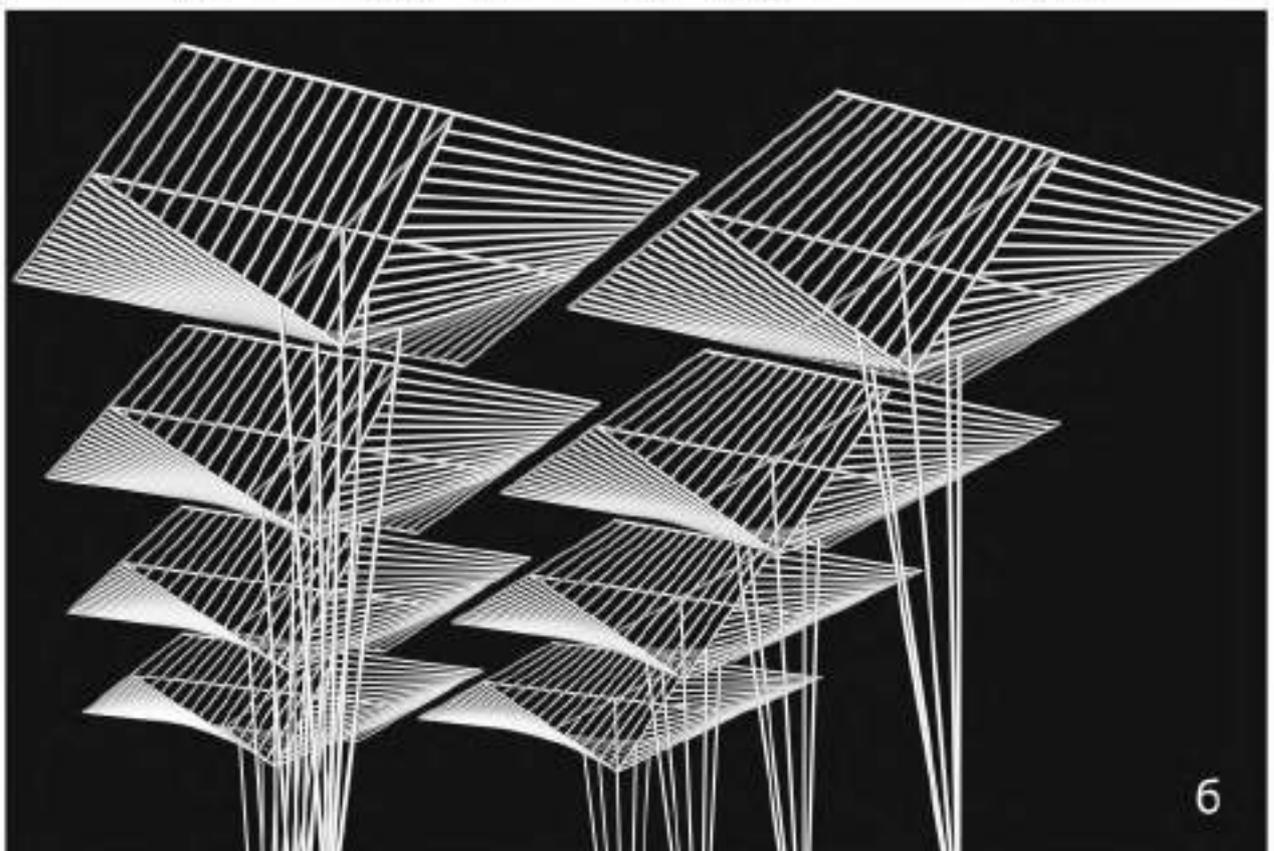
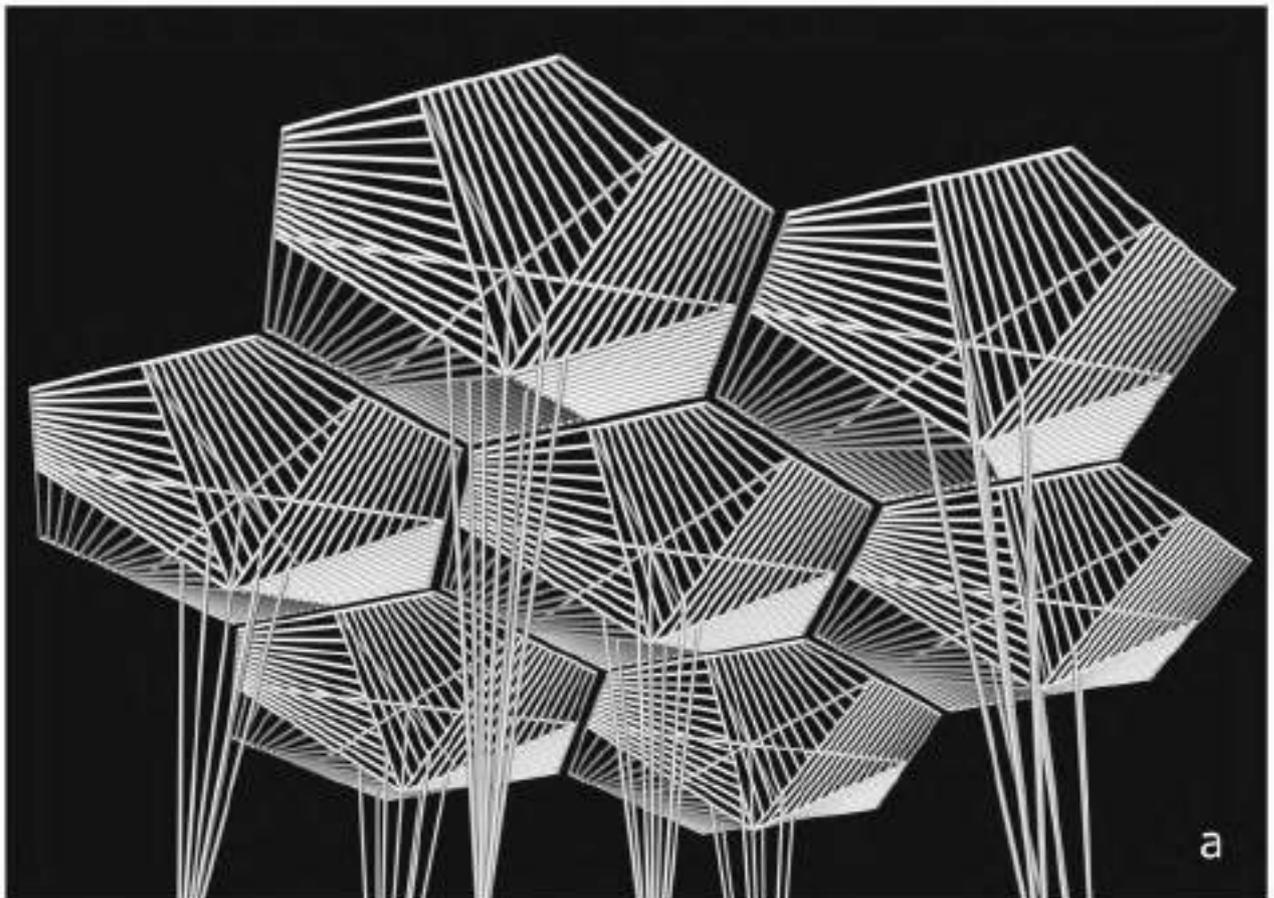


Рисунок 134 - Решетчатые/стержневые/трубчатые структуры, аппроксимирующие своими прямолинейными образующими сплошные криволинейные оболочки. Контурные линии структур могут быть прямолинейными, а также выполняться в виде плоских /неплоских дугобразных кривых (в т.ч. замкнутых). Легкость и жесткость - основные параметры их технической эффективности. Автор разработок и рисунков Коротин А.В.

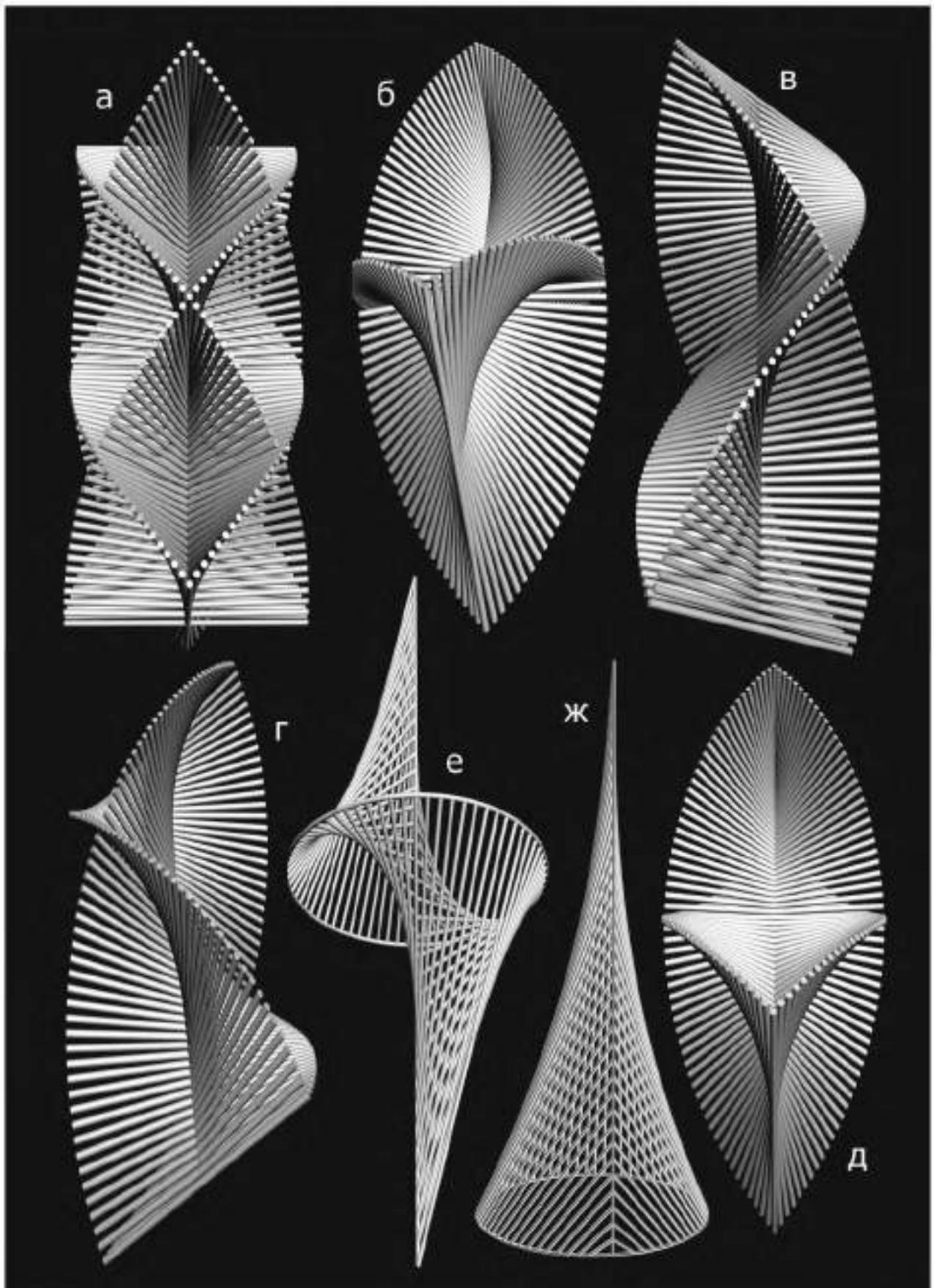


Рисунок 135 - Решетчатые/стержневые/трубчатые структуры, аппроксимирующие своими прямолинейными образующими сплошные криволинейные оболочки. Конурные линии структур могут быть прямолинейными, а также выполняться в виде плоских /неплоских дугобразных кривых (в т.ч. замкнутых). Легкость и жесткость - основные параметры их технической эффективности. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

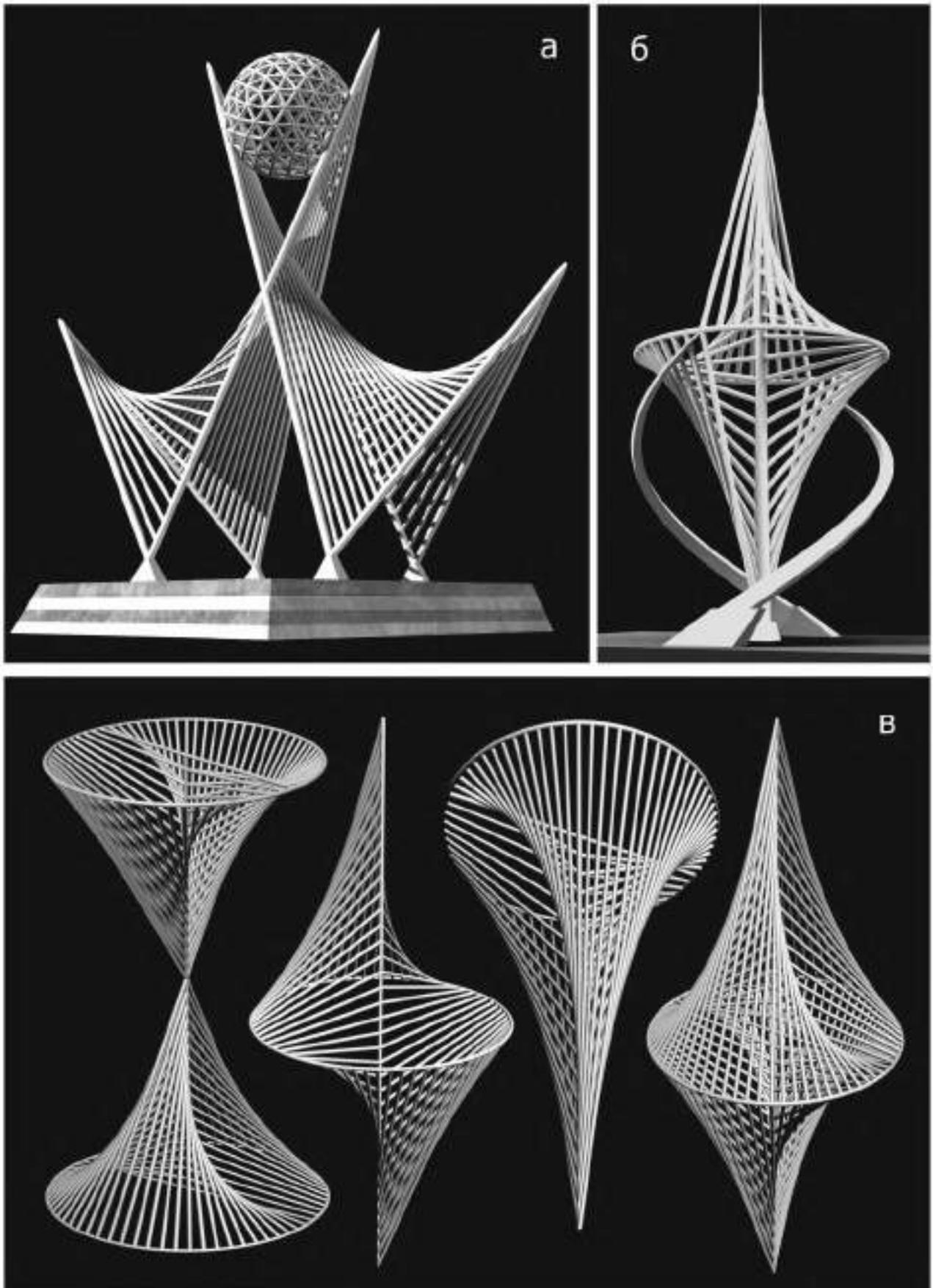


Рисунок 136 - Решетчатые/стержневые/трубчатые структуры, аппроксимирующие своими прямолинейными образующими сплошные криволинейные оболочки. Конурные линии структур могут быть прямолинейными, а также выполняться в виде плоских /неплоских дугообразных кривых (в т.ч. замкнутых). Легкость и жесткость - основные параметры их технической эффективности. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

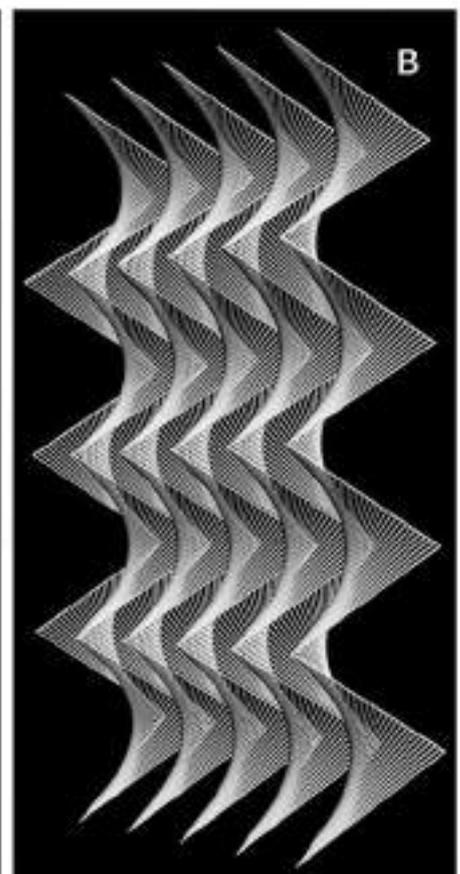
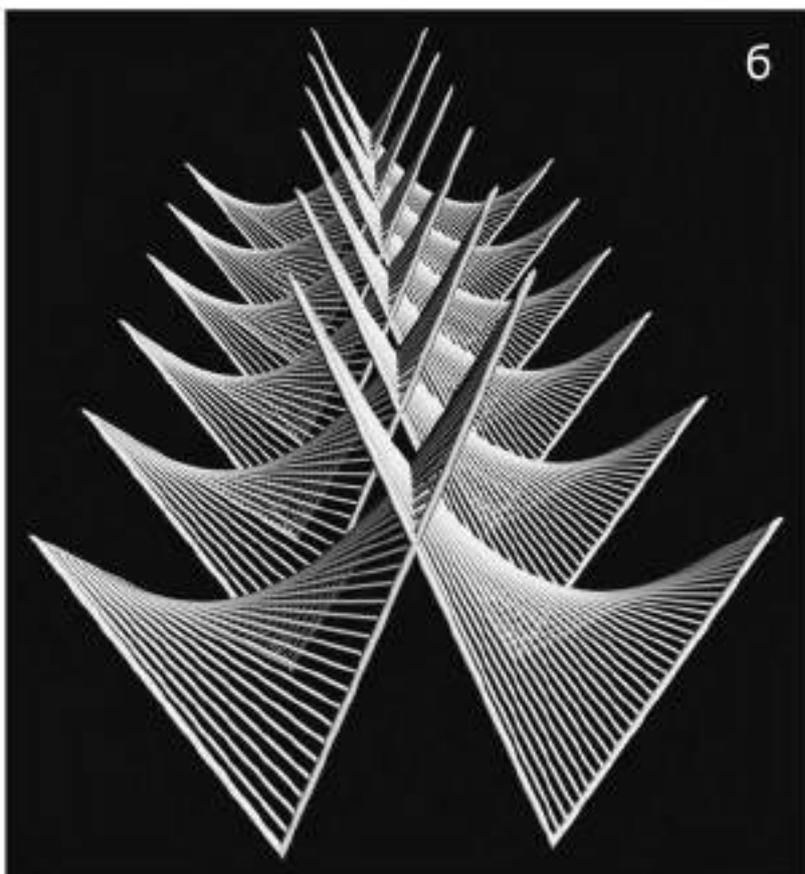
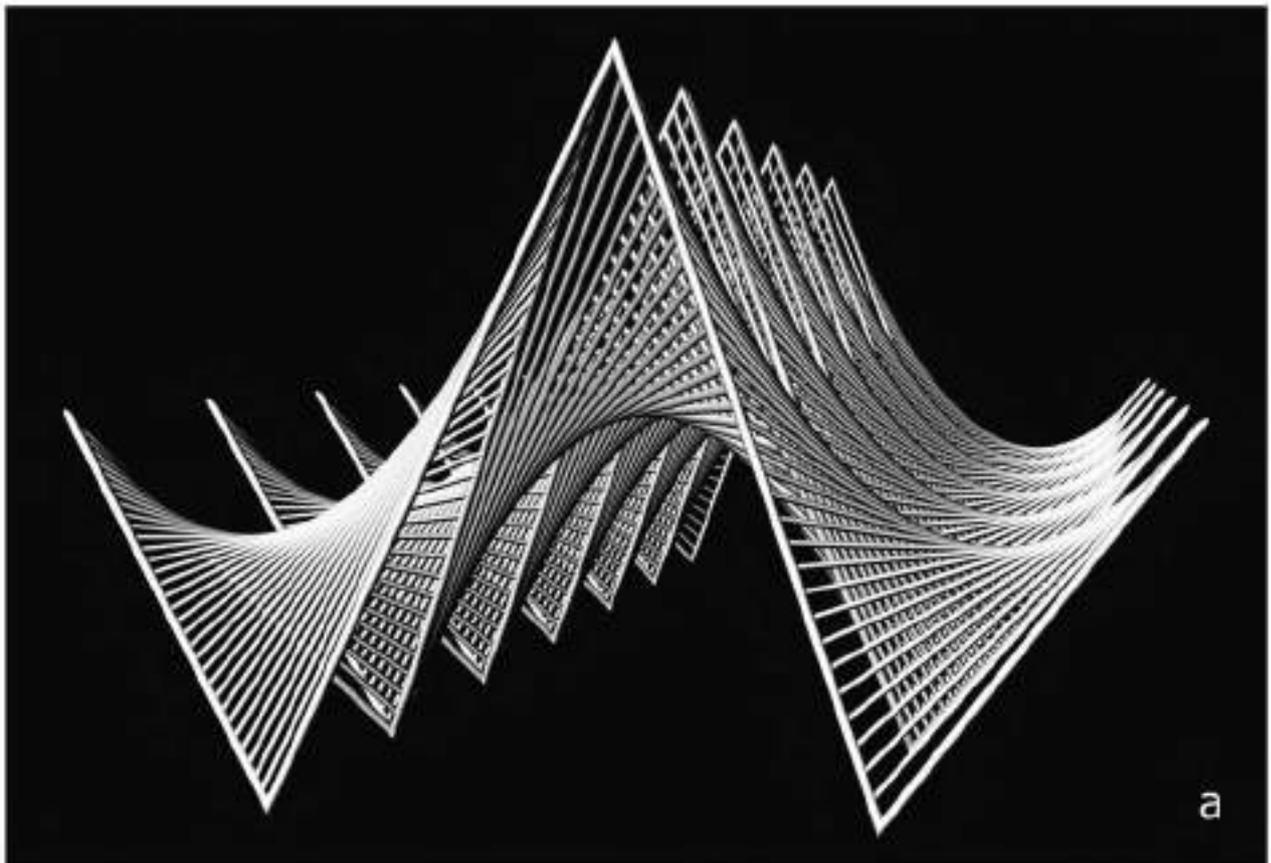


Рисунок 137 - Решетчатые оболочки малых форм. В первом случае произведено параметрическое преобразование исходной многомодульной решетки из г-образных призматических объемов, составленных в квадраты. Во втором случае решетчатая структура образована вырезанием эллиптических торов, составленных в цепи, из толщи исходных призматических объемов. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

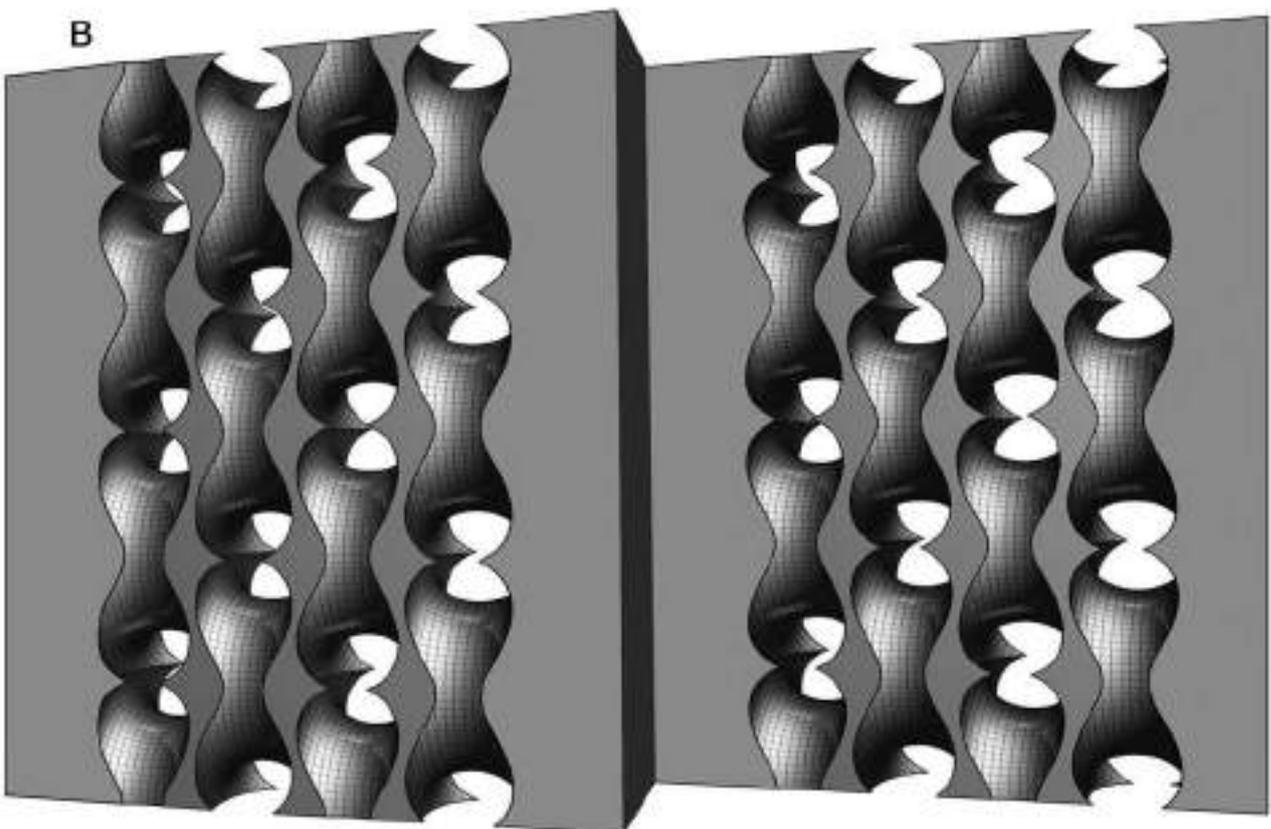
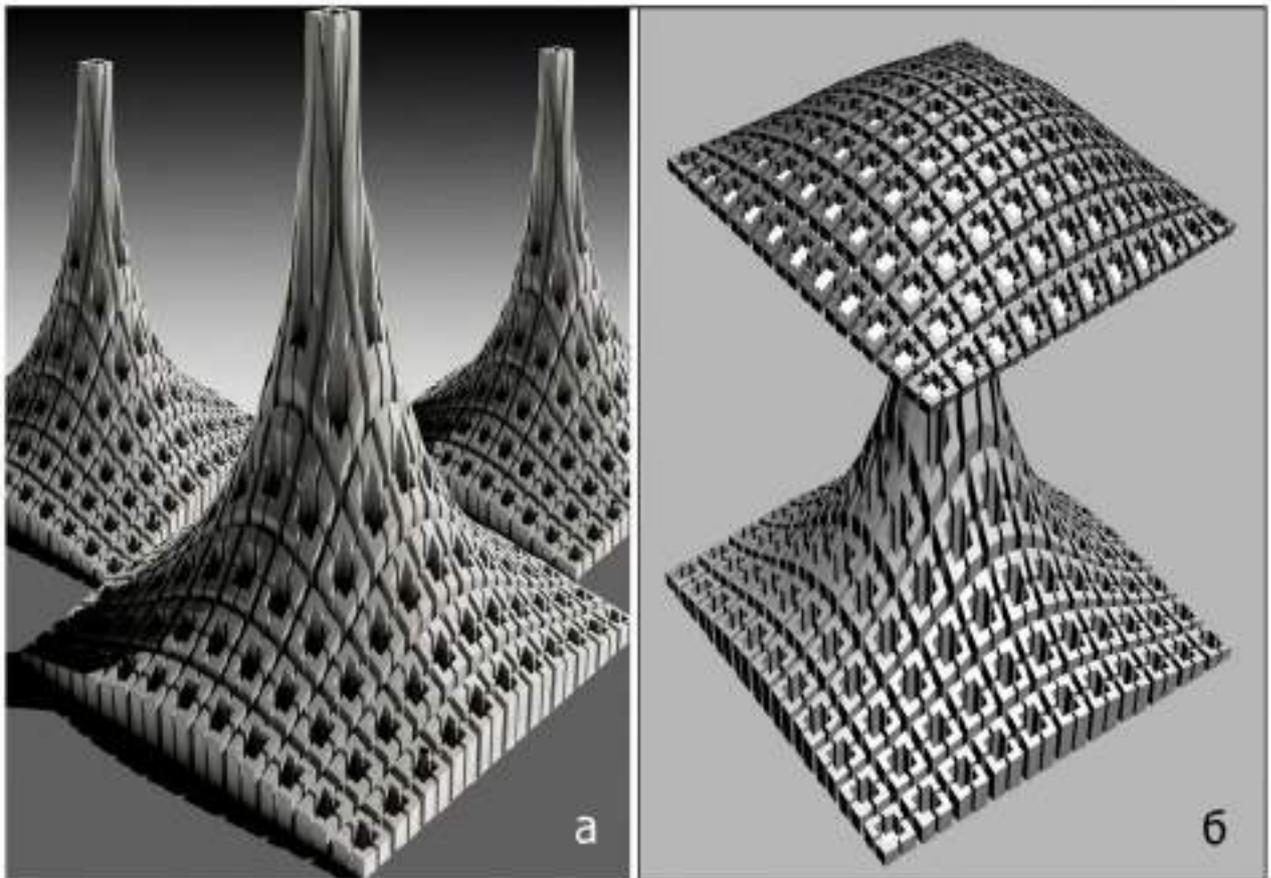


Рисунок 138 - Многослойные структуры малых форм с постоянными или переменными геометрическими параметрами слоев. Вариативность формообразования слоистых конструкций основана на характере дискретного перемещения слоев относительно друг друга либо на характере постепенного или скачкообразного изменения их конфигурации либо на совмещении этих двух факторов. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

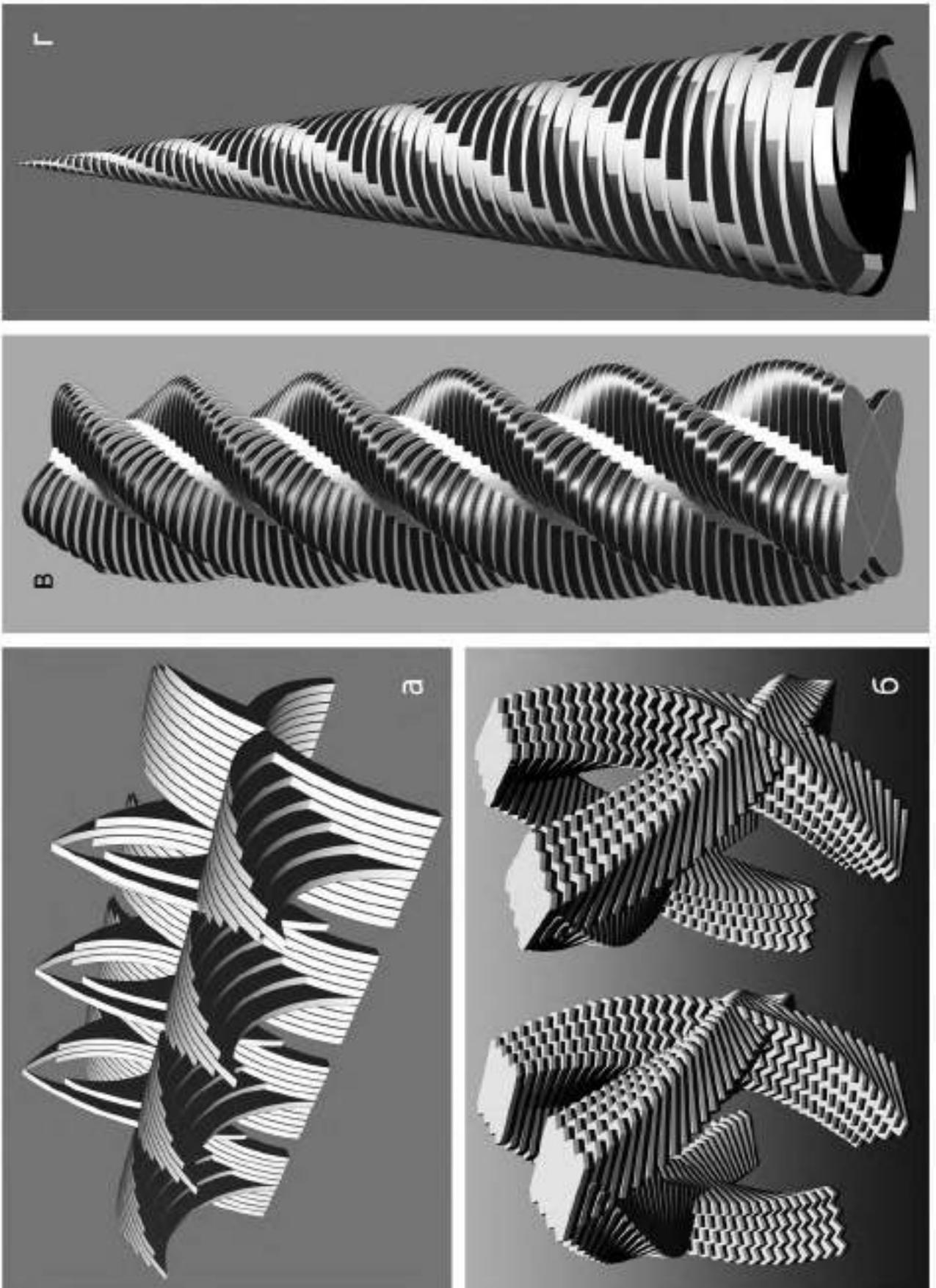


Рисунок 139 - Складчатые структуры малых форм. Центрическая структура образована аппроксимацией граней исходного додекаэдра пятиугольными складчатыми панелями звездчатого очертания. Ленточная складчатая структура имеет плоскую развертку и образована по принципу "контррельефа", когда смежные повторяющиеся участки поверхности переворачиваются относительно друг друга. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

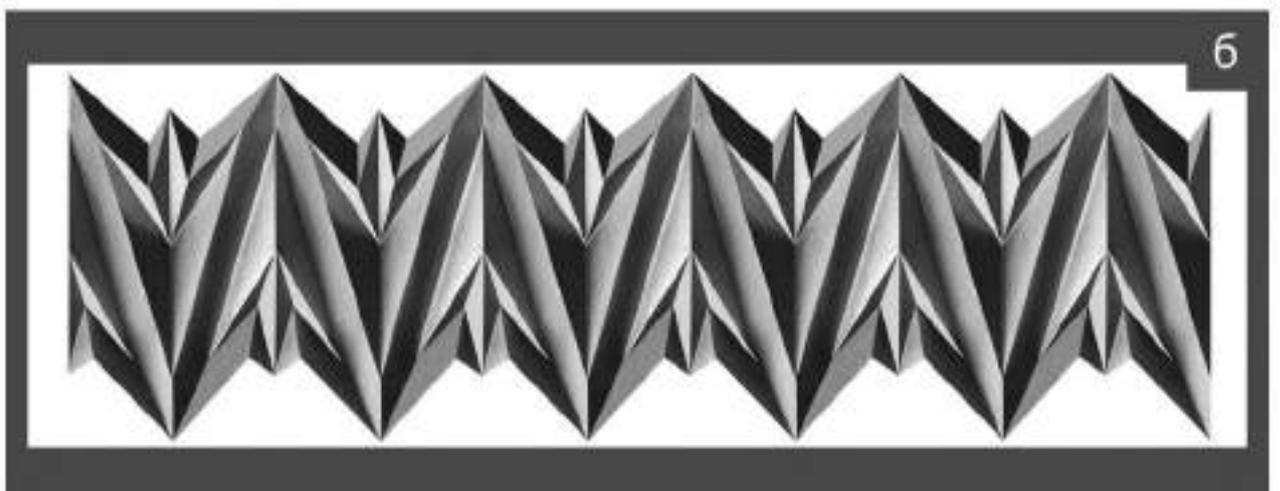
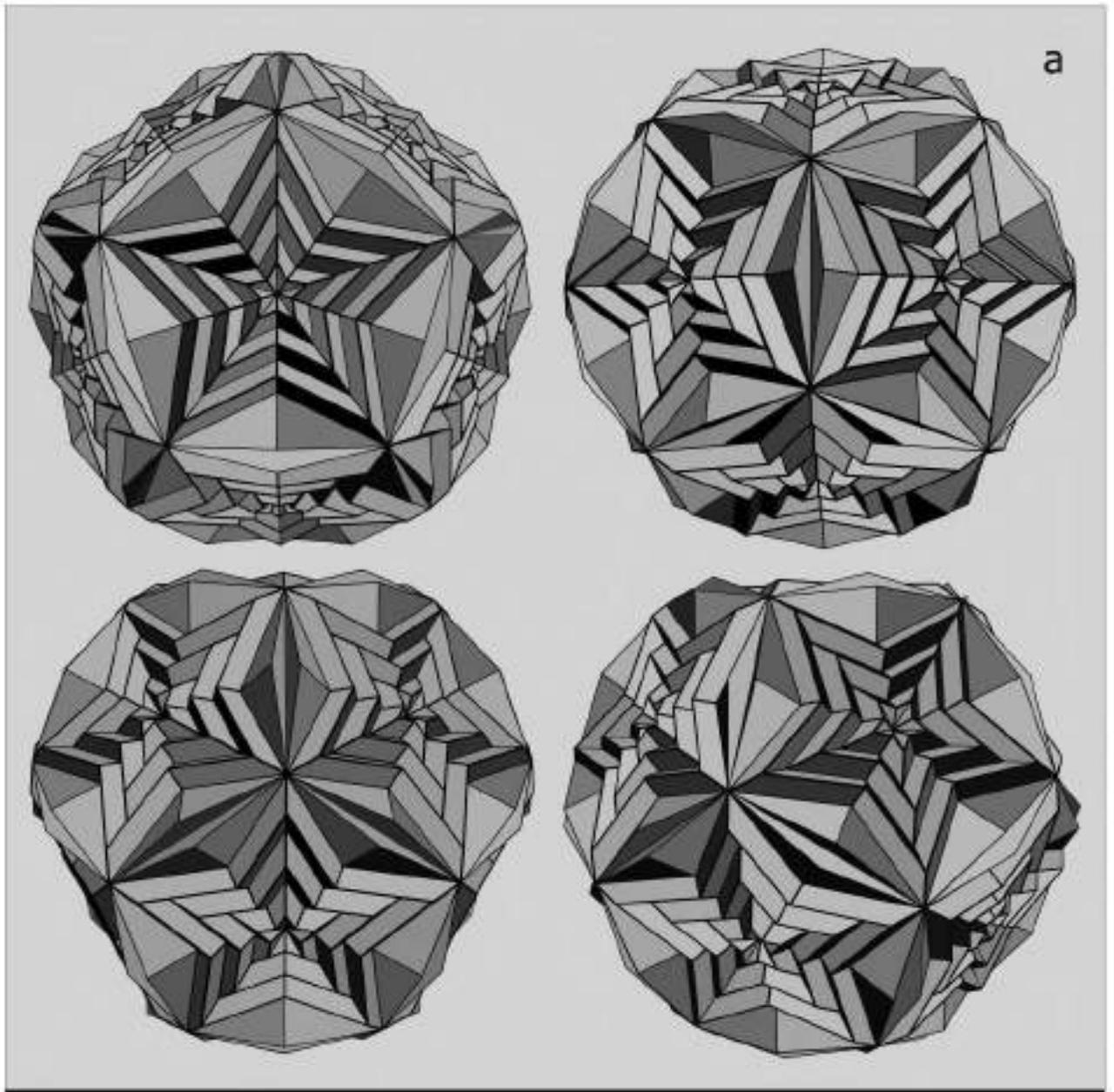


Рисунок 140 - Разновидности сводчатых подвесных акустических потолков из равносторонних треугольных модулей, имеющих фрактально-решетчатую внутреннюю структуру, а также из модулей формы шестигранных пирамид, состыкованных вершинами оснований в шахматном порядке; при этом вершины пирамид соединены решетчатым стержневым каркасом с ромбовидными ячейками. Автор концептов и рисунков Коротич А.В.

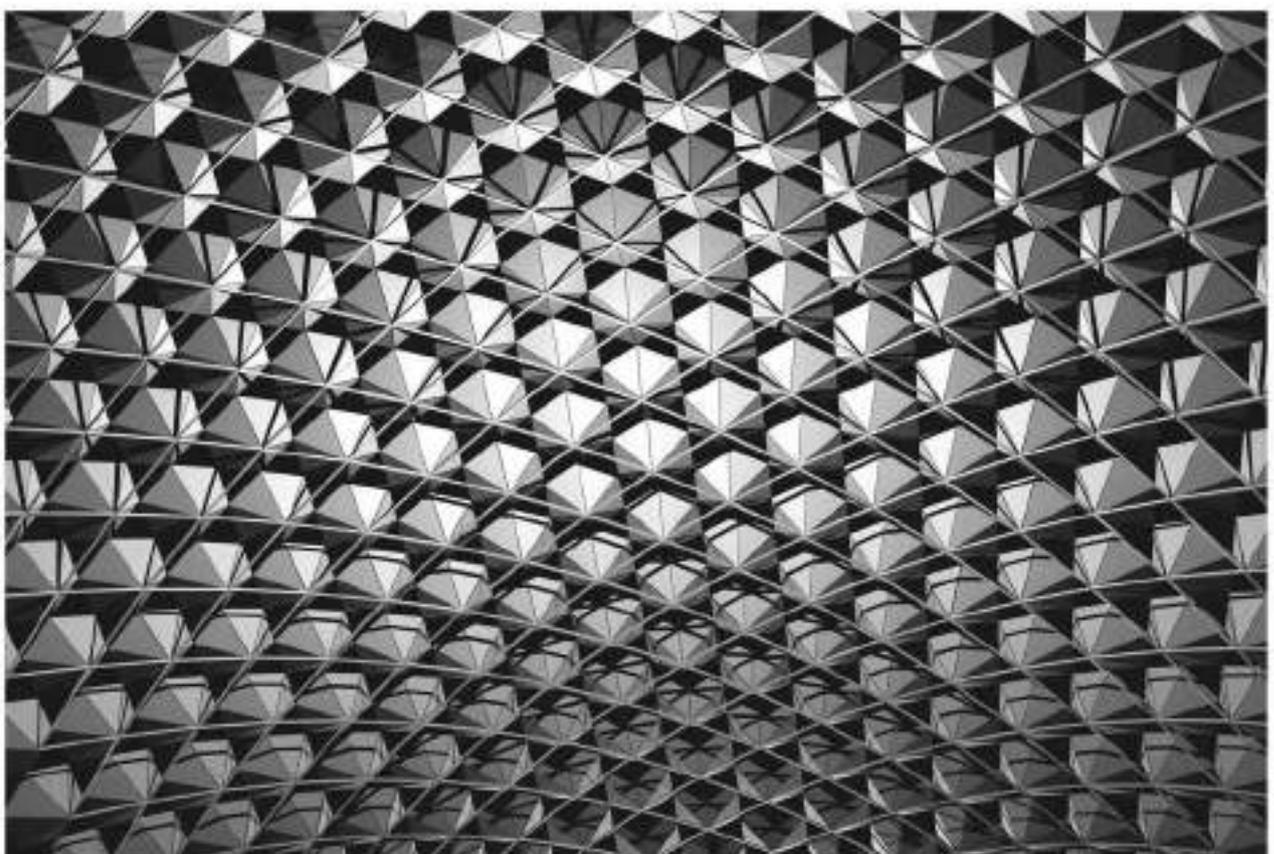
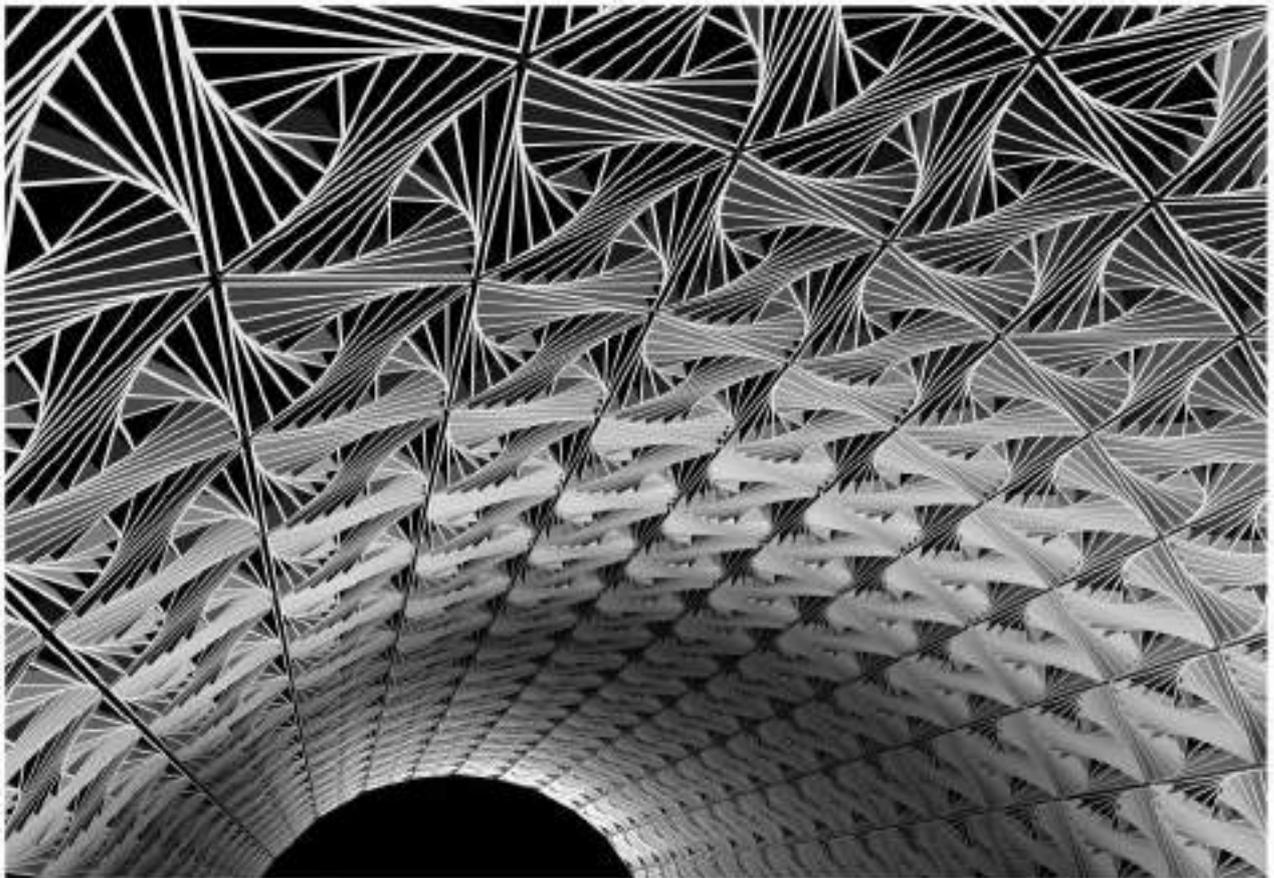


Рисунок 141 - Вариативные композиционные решения малых форм зонтичного типа, имеющих образное прочтение "колонны с капителью". Профилированные/складчатые стволы являются опорой зонтичной конструкции и завершаются объемом, имеющим крупноскладчатую, решетчатую или мультикристаллическую структуру, а также отсеками гипара или фрактально-слоистыми элементами. Автор концептов и рисунков Коротич А.В.

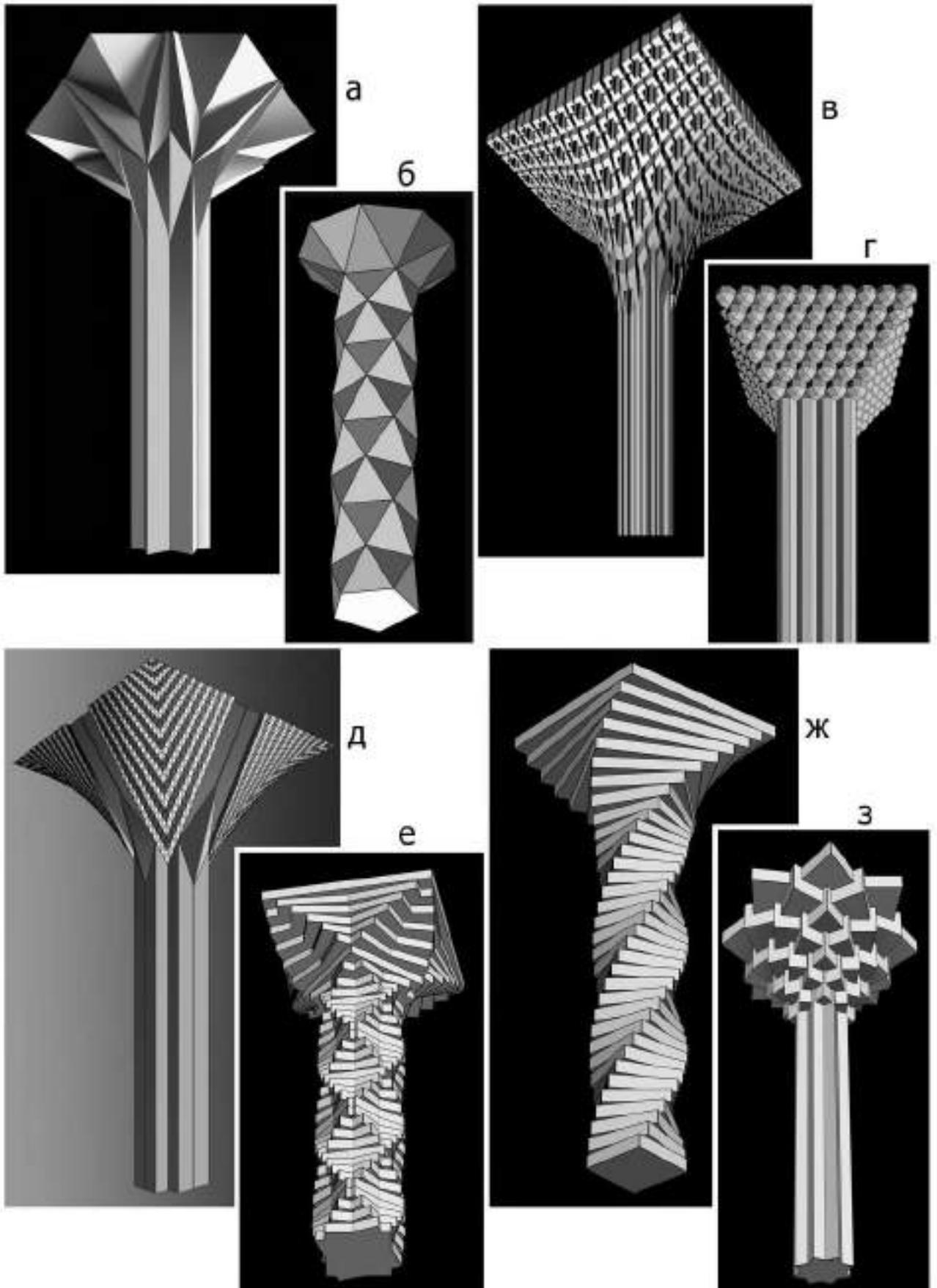


Рисунок 142 - Модели спирально-складчатой трубы, куполообразной оболочки с радиальной складчатой структурой, а также малых форм среднего дизайна со сложной пластической конфигурацией складчатого объема (три варианта). Представленные модели имеют плоскую листовую развертку с индивидуальной сетью линий сгиба. Автор разработок, рисунков и фотографий Коротич А.В.

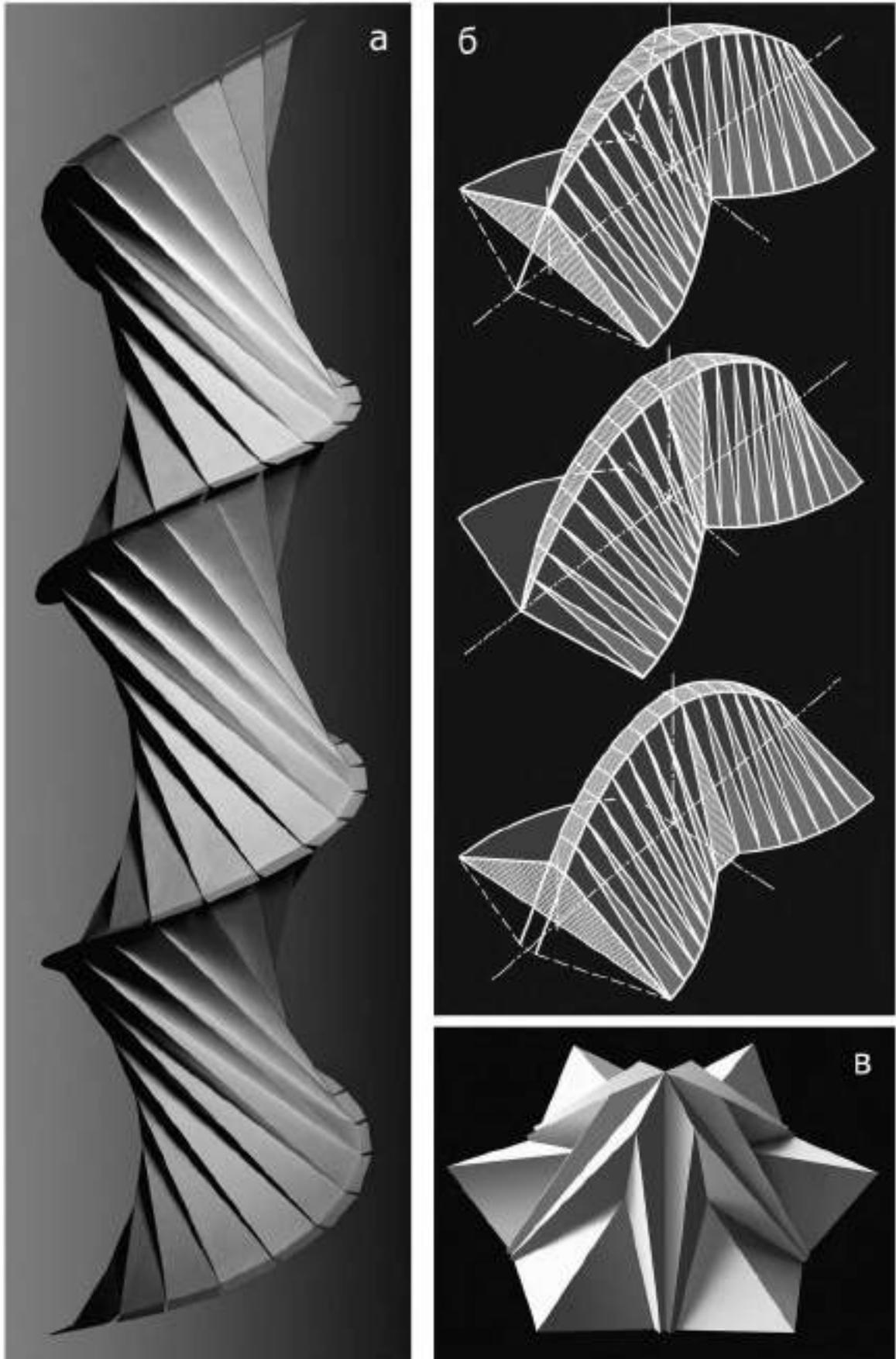


Рисунок 143 - Двухстадийная трансформация плоской ленточной развертки с зигзагообразным рисунком линий сгиба: -образование открытой складчатой спирали; -соединение кромок полученной спирали с образованием спирально-складчатой трубы. Во втором случае вследствие клиновидной формы ленточной развертки последняя стадия предполагает укладку участков спирали внутрь объема. Автор разработок и рисунков Коротин А.В.

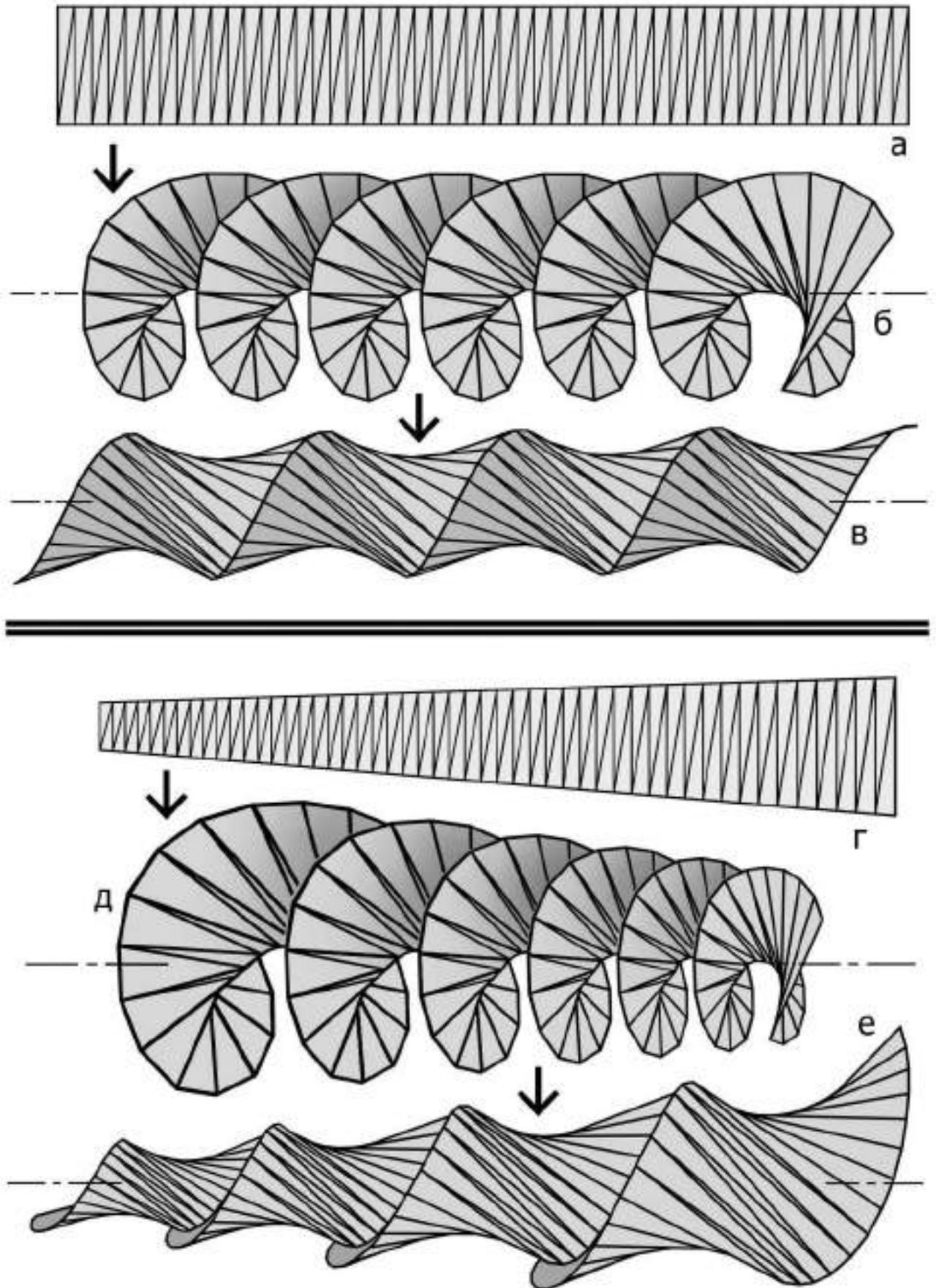


Рисунок 144 - Стадии последовательной трансформации замкнутых трубчатых объемов, имеющих складчатую структуру оболочек. В первом случае спирально-складчатая оболочка имеет постоянное поперечное сечение; во втором случае разворачивание оболочки производится с изменением конфигурации ее поперечного сечения. Соотношение толщины пакета и длины развернутых оболочек 1:40. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

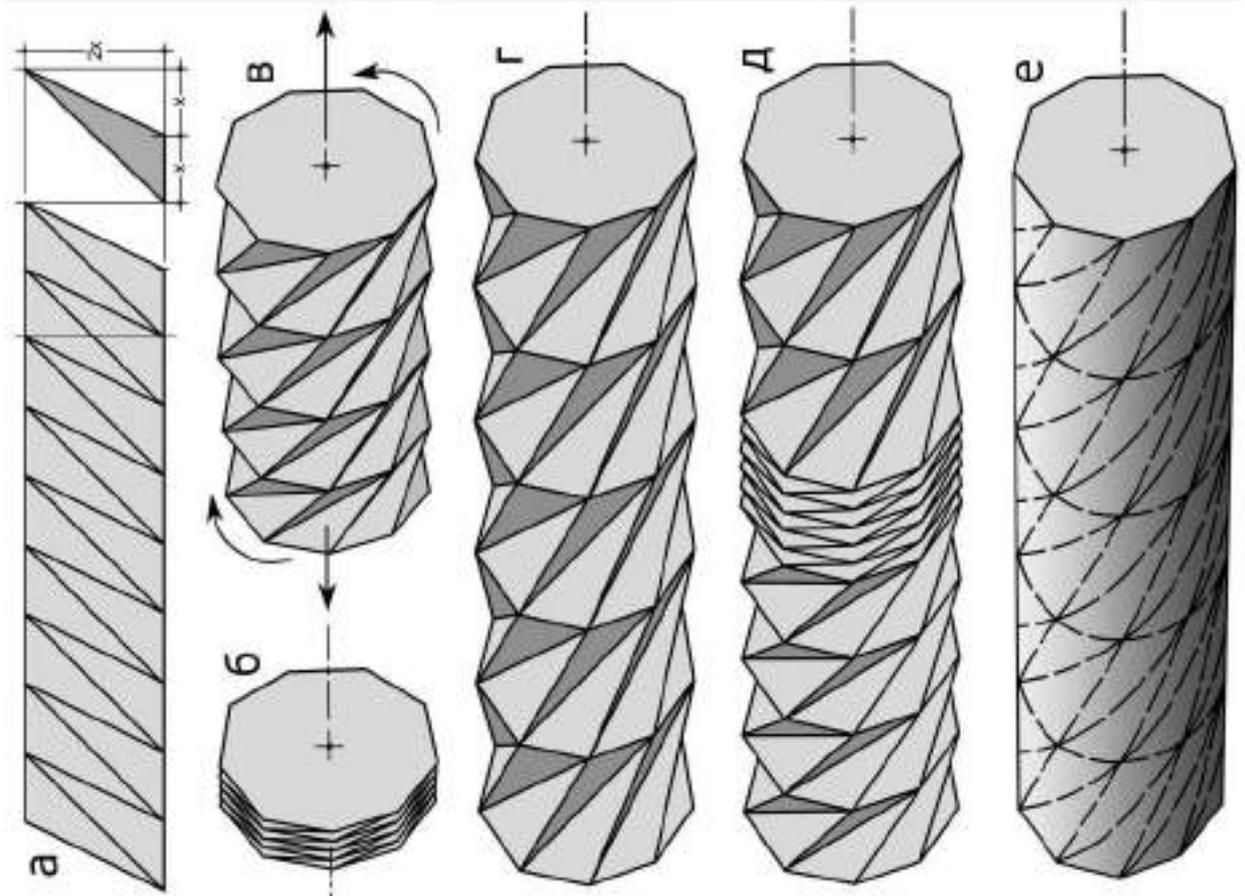
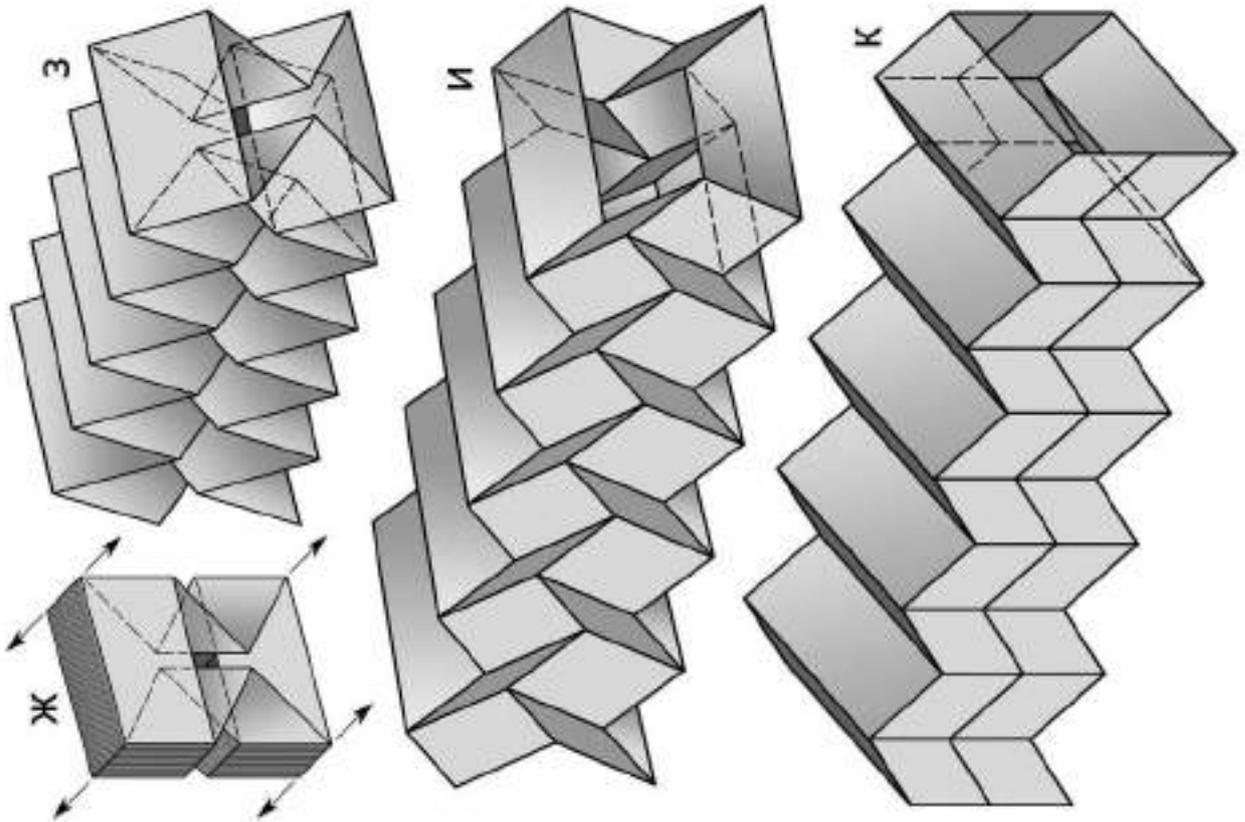


Рисунок 145 - Трансформация многогранных объемных модулей из предельно компактной упаковки: стадии раз-  
вертывания модуля типа усеченного октаэдра из шестиугольного пакета, а также схема трансформации блока из  
двух четырехгранных модулей, сложенных в пятиугольный пакет (очертание упаковки соответствует конфигура-  
ции граней модулей). Результирующая многомодульная структура. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.

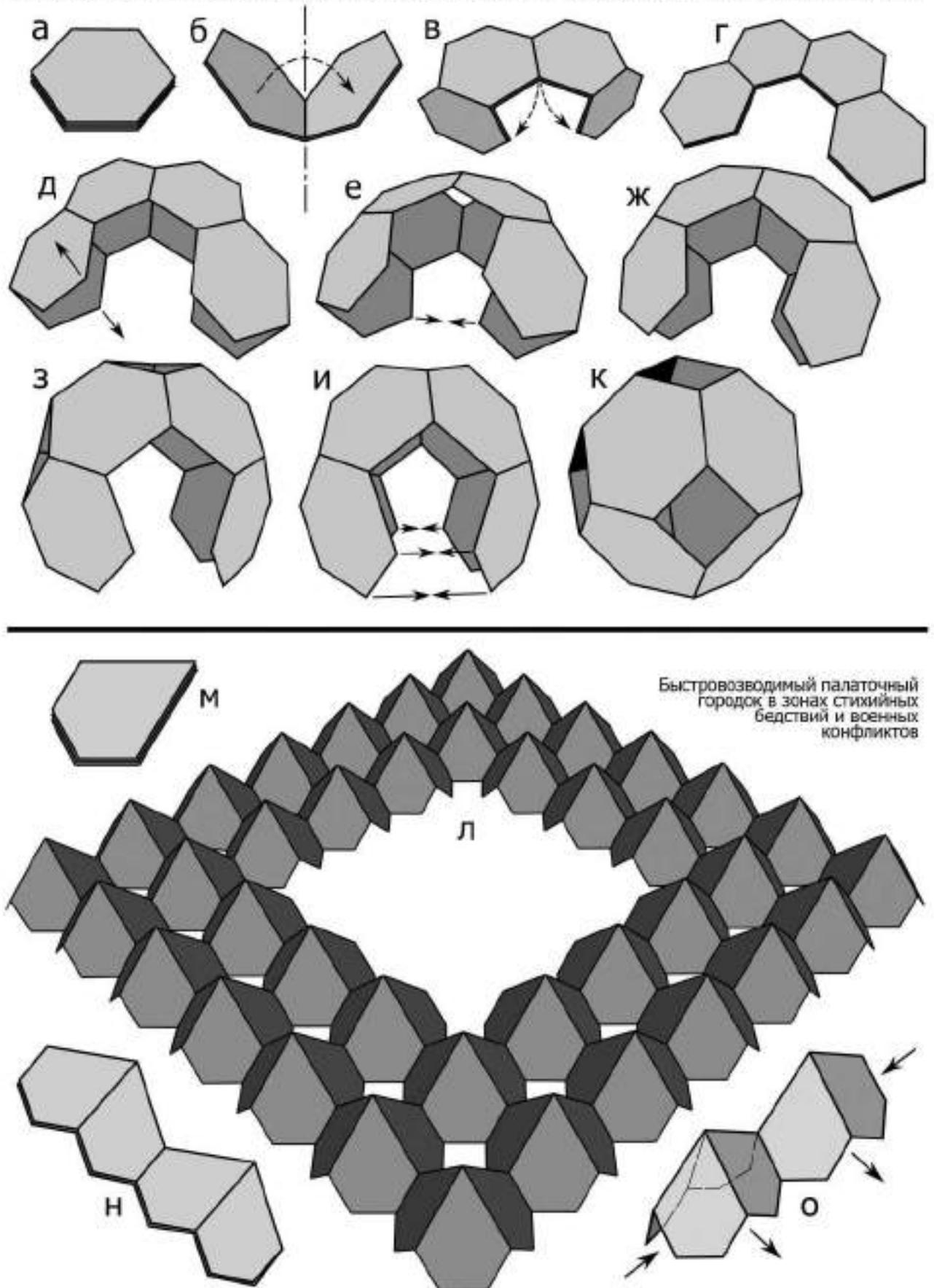
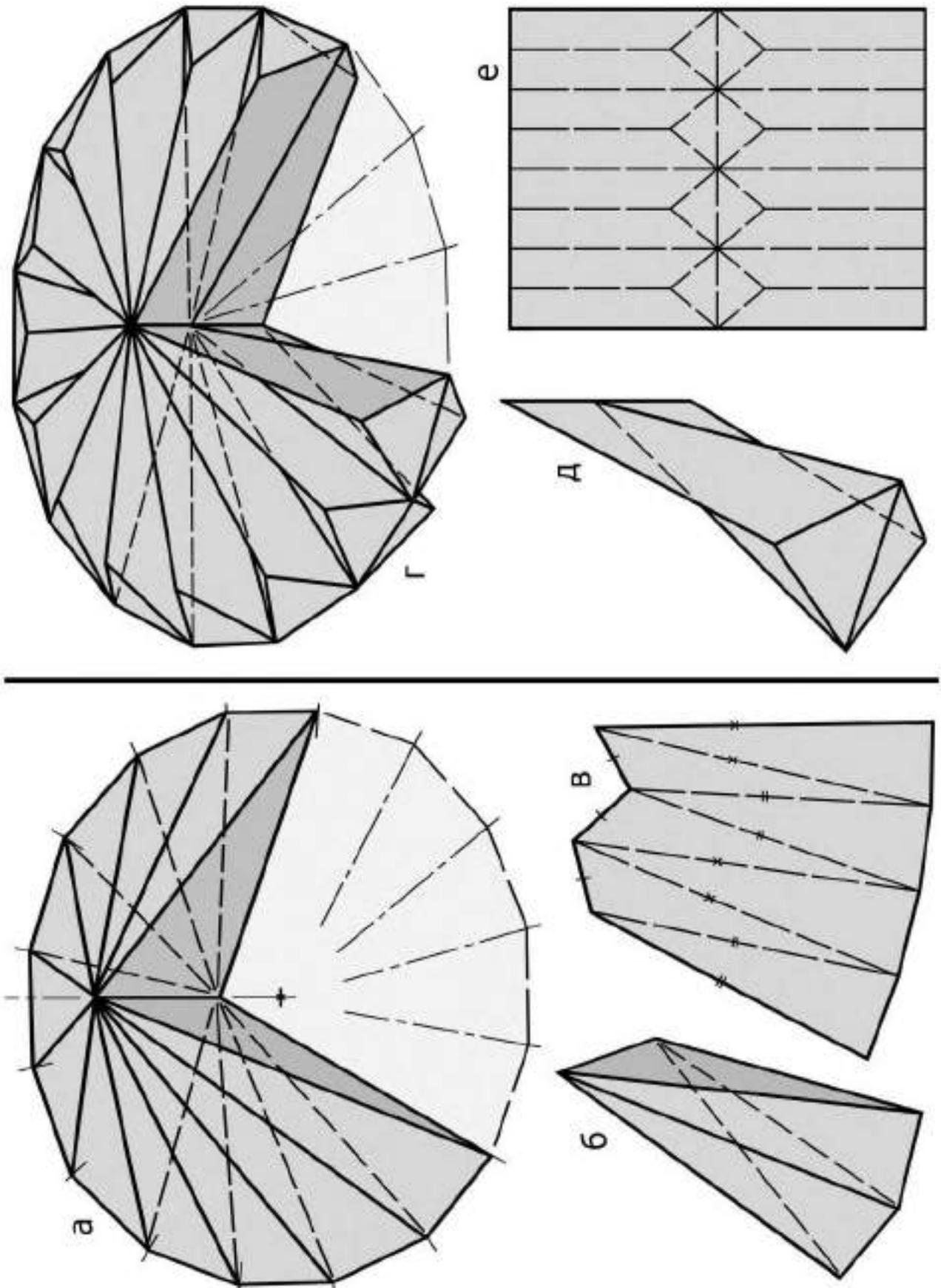


Рисунок 146 - Формообразование складчатых радиальных оболочек, имеющих плоскую развертку, трансформируемую по ребрам/линиям сгиба. В первом случае оболочка собирается из отдельных предварительно изготовленных спаренных клиновидных блоков; во втором случае трансформация двухслойного покрытия производится с предварительным напряжением граней складок. Автор разработок и рисунков Коротич А.В.



# перспективные морфологические направления формотворчества в дизайне **147**

Рисунок 147 - Возможности IT и искусственного интеллекта в процессе моделирования сложных форм- методологическая платформа создания переменных композиционно выразительных и технически эффективных решений разнообразных объектов широкой функционально-типологической номенклатуры. Источники информации: а- [299]; б- [300]; в- [301]; г- [303]; д- [302]; е- [304].

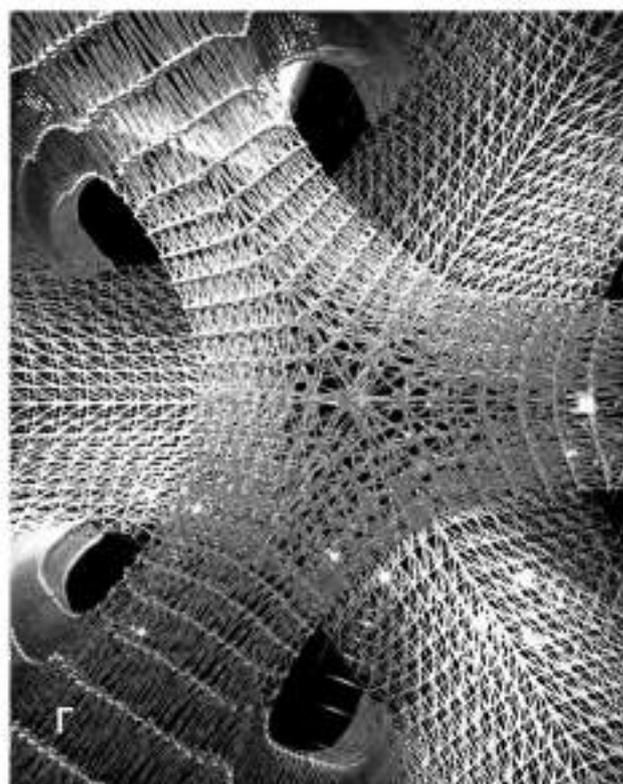
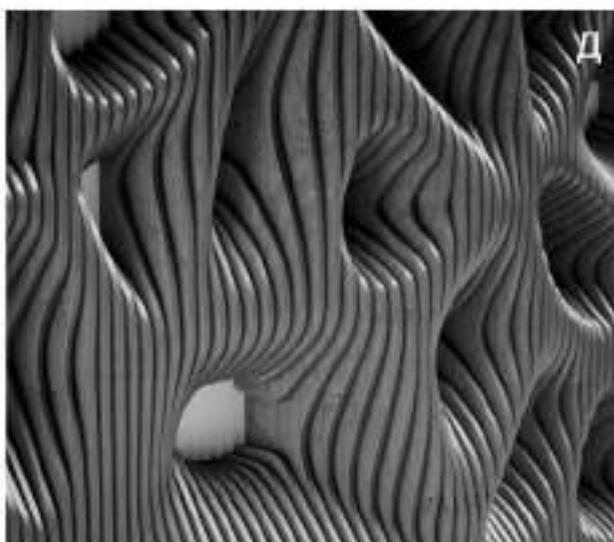
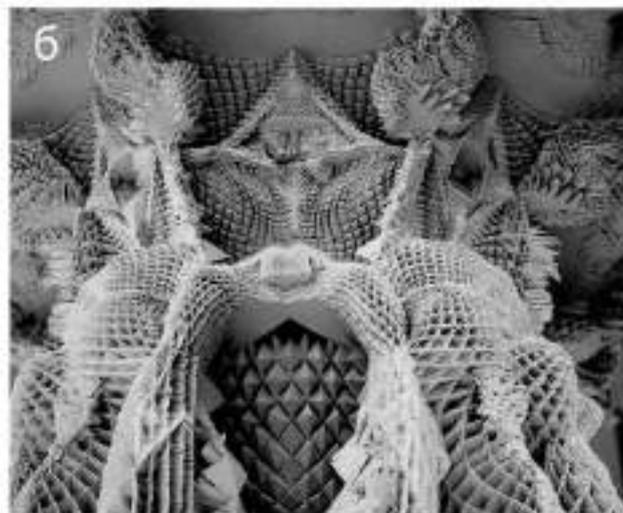
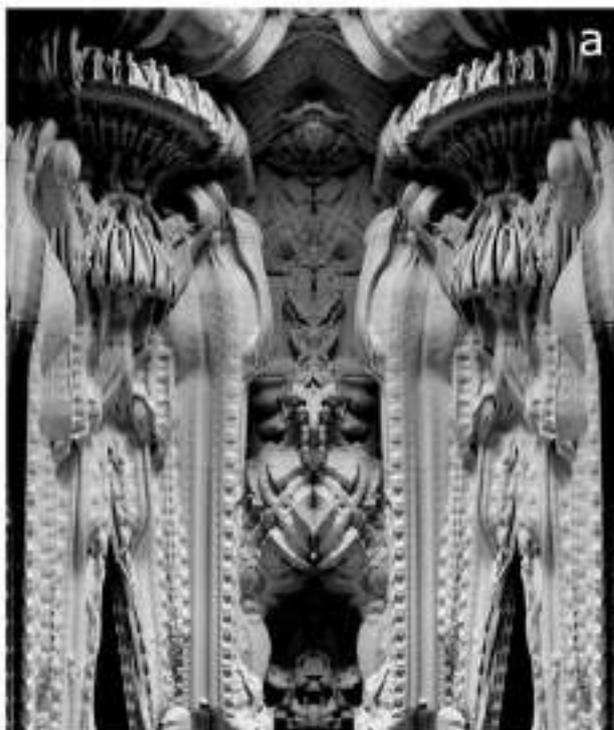


Рисунок 148 - Формотворческие решения сувенирных изделий, развивающих конструкторов и изделий полиграфической промышленности из бумаги, картона и пластика. Изделия имеют регулярную складчатую структуру и получены путем трансформации плоской листовой развертки. Отдельные элементы изделий выполнены со сквозными прорезками исходной развертки. Автор разработок, объемных моделей и рисунков Коротич А.В.

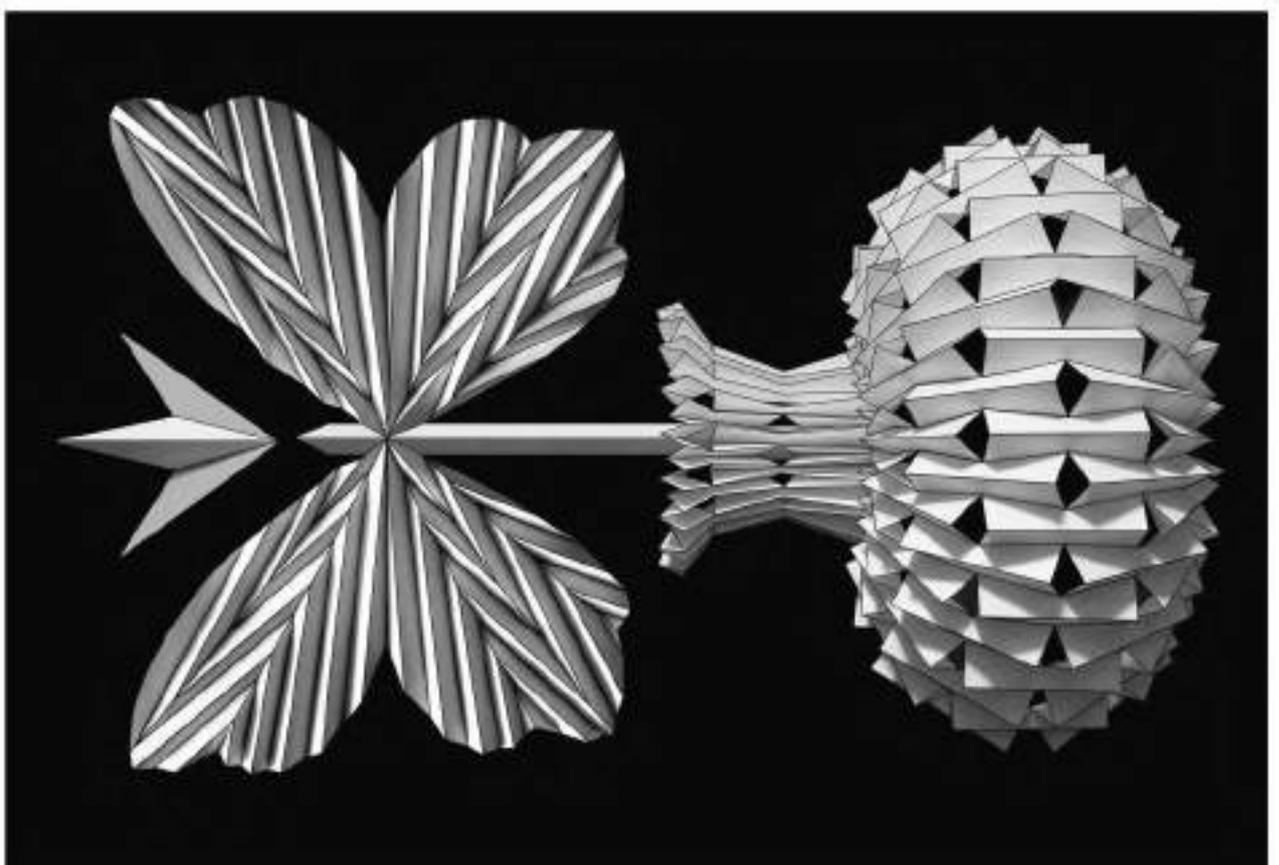
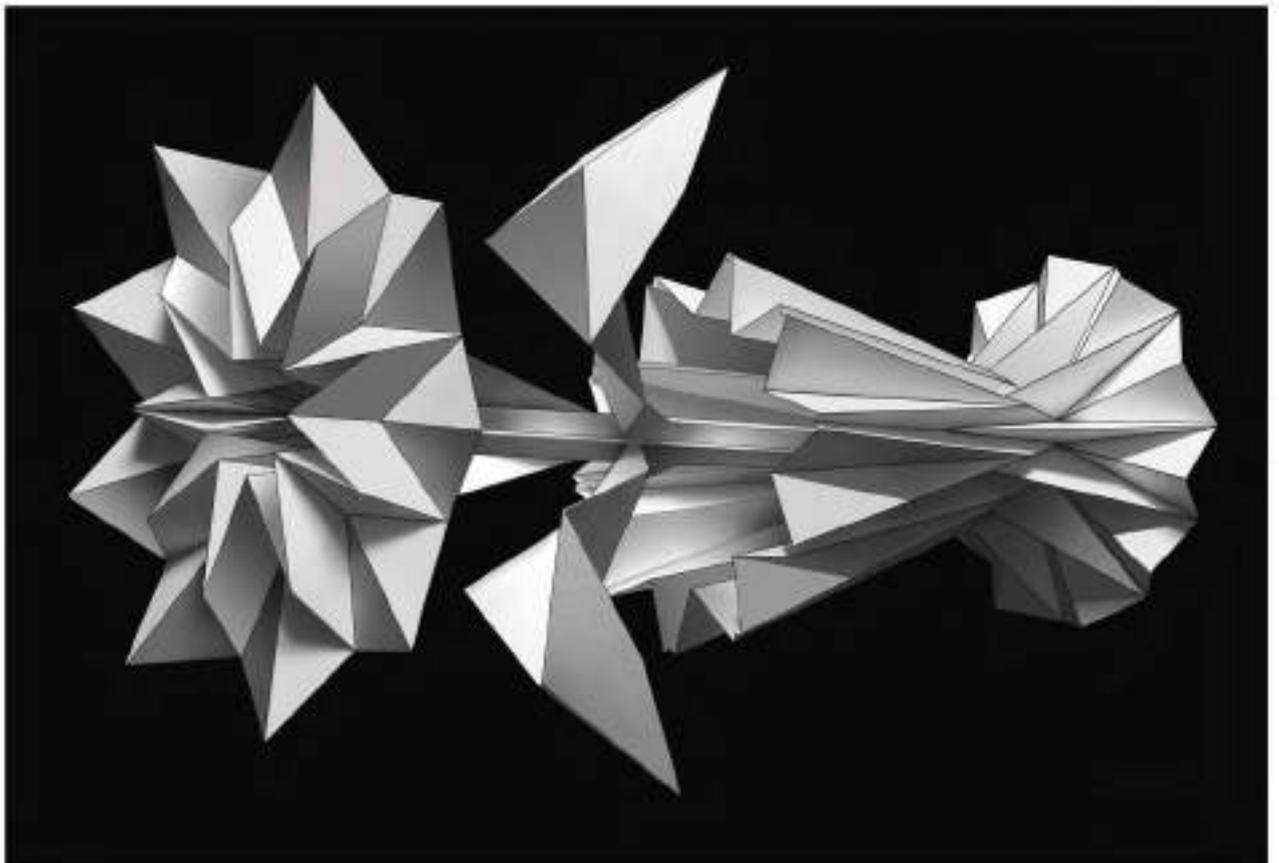


Рисунок 149 - Формотворческие решения аксессуаров одежды (а-в), изделий пищевой промышленности (г) и ювелирных изделий (д-е), выполненные с использованием регулярных дискретных структур из различных материалов. Складчатые и решетчатые формы изделий имеют фрактальную модульную структуру, допуская использование промышленных технологий и индивидуальное изготовление. Автор разработок, моделей и рисунков Коротич А.В.

