

## EVOLUTIONARY-TECHNOLOGICAL ZONING OF THE CITY

*Vashhkevich V. V.*

**Ph.D., Associate Prof. Head  
of the Department "Urban Planning" Belarusian  
National Technical University**

The methodology developed by the authors for identifying zones of technological maturity of urban developments in Minsk can contribute to a more

complete understanding of the dynamics of development of a large city, taking into account the change in the city's urban base as a result of scientific and technical transformations.

Key words: evolutionary-technological zoning, city life cycle, phases of city development.

*Поступила в редакцию 06.02.2024 г.*

УДК 721.012

## АРХИТЕКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЧЕЙСТЫХ БУМАЖНЫХ СТРУКТУР

**Вишнякова Е. Н.**

магистр архитектурного дизайна,  
ст. преподаватель кафедры  
«Дизайн архитектурной среды»

Белорусский национальный технический университет

*Развитие современных инновационных технологий в архитектуре и строительстве, компьютерных технологий проектирования создали возможности для появления новых архитектурных форм и строительных конструкций. Начиная с середины XX в. стали появляться объекты, поверхность которых имела в своем основании ячейку. Использование этого принципа позволило создавать более динамичные архитектурные формы. Задача данной статьи – исследование возможностей ячеистых бумажных структур в учебном архитектурном моделировании.*

*Ключевые слова: ячеистая бумажная структура, тектоника ячеистых структур, композиционно-художественные приемы организации структуры, геоморфизмы структурной формы, плоскостной геометрический вид формы, структурные оболочки положительной и отрицательной гауссовой кривизны, анизотропность структурных оболочек, атектоничность структурной формы.*

*Введение.* Среди современных архитектурных объектов можно привести ряд примеров, иллюстрирующих возникновение структурных форм в виде разнообразных оболочек. Так, в 1962 г. в США (Калифорния) в городке Колорадо-Спрингс появилась часовня для Училища ВВС США, архитектор Вальтер Нетш. Складчатая конструкция сочетает в себе каркас с алюминиевыми панелями и витражными окнами (рис. 1).



Рис. 1. Архитектор Вальтер Нетш.  
Часовня ВВС США. 1962 г.

В 1990 г. в Японии построена Арт-башня в г. Миото, автором которого явился архитектор Арата Исодзаки. Смотровая башня, представляет из себя объем, состоящий из аналитических фигур – 28-ми смежных тетраэдров, собранных таким образом, что ребра объема развиваются в винтовом направлении (рис. 2).

Интерес представляет инженерно-техническое решение конструкции, в основу которой положен каркас из нержавеющей стали, обшитый титановыми панелями.



Рис. 2. Архитектор Арата ИсодзакИ.  
Арт-башня в Мито, Япония. 1990 г.

К 2007 г. в Мюнхене было завершено строительство части промышленного комплекса BMW, предназначенного для демонстрации новинок автомобилестроения. Часть объема, представляющая форму из двух встречных конусов, имеет ячеистую поверхность, создающую иллюзию вихревого движения (рис. 3).



Рис. 3. Архитектурное бюро *Himmelblau*.  
Шоу-рум BMW Welt. 2007 г.

Современная архитектурная пластика демонстрирует, что практически все технологические ограничения создания формы, существовавшие в архитектурной практике до недавнего времени, сняты. Расширяются возможности архитектур-

ного формообразования. Это определенный стимул для экспериментирования с архитектурной формой в процессе обучения будущих архитекторов. Одним из таких направлений при освоении архитектурной профессии является экспериментальное макетирование, в котором творческие задачи решаются на базе ячеистой бумажной структуры.

*Основная часть.* Одни из первых упоминаний о ячеистых структурах можно найти среди разработок архитектурной и художественно-промышленной школы Баухауз (1919–1933 гг.), организованной В. Гропиусом [1]. Преподаватель Баухауза Йозеф Альберс в 1923–1933 гг. активно работал в этом направлении со своими учениками в процессе освоения дисциплин «Теория материалов» и «Теория работы» (рис. 4, 5). Более широкое распространение в дизайнерской практике ячеистые структуры получили в сфере архитектуры и дизайна во второй половине XX в.

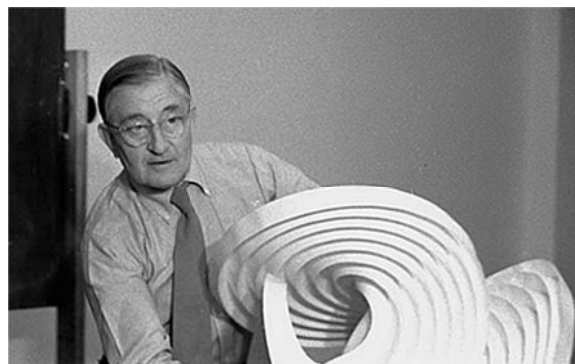


Рис. 4. Йозеф Альберс (1888–1976) –  
преподаватель Баухауза



Рис. 5. Ученики Й. Альберса  
представляют свои работы

Тектоника структурной бумажной пластики зависит от технологических и композиционно-художественных приемов организации структуры. К технологическим приемам следует отнести обработку бумаги с помощью надразов (разрезов) прямолинейного, криволинейного, или комбинированного вида, а также принцип структурирования материала. Этот принцип определяет особенности тектоники ячейстых структур и заключается в модульной геометрической организации плоскости бумаги. В результате элементы (ячейки) поверхности подчиняется законам математики – пространственной и аналитической геометрии. Исследования формообразующих свойств структурированной поверхности обнаруживает также топологические [2] признаки ячейстых структур. В основе топологии (раздел геометрии) лежит одно из существенных свойств реального мира – свойство непрерывности. Подвергая структурированную поверхность деформациям, мы обнаруживаем способность формы возвращаться к первоначальному ее состоянию – плоскости.

Композиционно-художественные приемы организации структуры позволяют выявить эстетические особенности формы. Они в значительной степени обусловлены метро-ритмическими приемами организации ячейстой структуры и зависят от концепции комбинаторного построения предполагаемой формы. При использовании в построении метрических рядов, ячейстая структура будет восприниматься как статичная. Ритмы, построенные на принципах пропорциональных изменений, придают ячейстой структуре динамику.

Ощущение ритма возникает также при замыкании плоскостной формы в объемную за счет визуального перспективного сокращения ячеек. В теории композиции принято считать, что ритм воспринимается при ограниченном количестве элементов:  $7 \pm 2$ , то есть от 5 до 9. В случае, если в зону видимости попадает такое количество элементов, ритм ощущается зрителем достаточно активно. Когда на воспринимае-

мом участке поверхности в ряду наблюдается количество элементов больше 9, поверхность начинает восприниматься глазом человека как фактура. В зависимости от количества ячеек на единицу площади также меняется картина свето-теневого моделирования поверхности.

С помощью художественных приемов ритмической организации, симметрии и асимметрии, статики и динамики, тождества и контраста, масштаба организуется структурная поверхность формы, обладающая особенными характеристиками: эта поверхность активно взаимодействует с пространством, имеет эстетические качества визуальной легкости, ритмичности или фактурности

Рассмотрим далее методику структурирования бумажной пластики. Первой ступенью структурного формообразования является геометрическое построение сетки и постепенная организация плоскостной формы вручную. На этом этапе происходит создание формы плоскостного геометрического вида [3].

Наибольшую сложность представляет организация неразрезной (цельной) структуры. Ячейки такой структуры имеют связи жесткого характера. Результатом данного этапа является формообразование поверхности различной толщины (рис. 6).



Рис. 6. Неразрезная и разрезная ячейстые структуры. Плоскостной геометрический вид формы

При рассмотрении структур, имеющих разрезы, можно заметить, что их ячейки не имеют таких жестких взаимозависимых связей, как ячейки неразрезных структур. Разрез ослабляет связи, ячейки могут быть связаны очень небольшими участками. В результате они обладают большей подвижностью друг относительно друга. Чем больше разрезов, тем слабее связи между



ячейками. Поэтому сама структура может быть довольно «мягкая», пластичная. Это позволяет создавать больше по количеству и разнообразию форм по сравнению с неразрезными структурами.

Начиная с этой стадии формообразования (как для неразрезных, так и для разрезных структур), можно наблюдать геоморфизмы [2] деформаций. Геоморфизмы структурной формы проистекают из ее топологических признаков. Это означает, что между точками формы устанавливается взаимно-непрерывное, взаимно-обратимое соответствие.

Вторая ступень комбинаторной организации ячеистой структуры позволяет и дальше выявлять специфические свойства этого способа формообразования. Переход формы плоскостного геометрического вида в объемный геометрический вид выявляет способность структуры к дальнейшим деформациям. Геоморфизмы проявляются в процессе механического воздействия на структурированную поверхность – сжатие, растягивание, скручивание и т. д. В этом случае мы можем наблюдать множество произвольных, непрерывных, обратимых деформаций, результатом которых может быть ряд формообразующих объектов. Таким образом, наблюдается переход от плоскостного геометрического вида формы к объемному (рис. 7, 8).

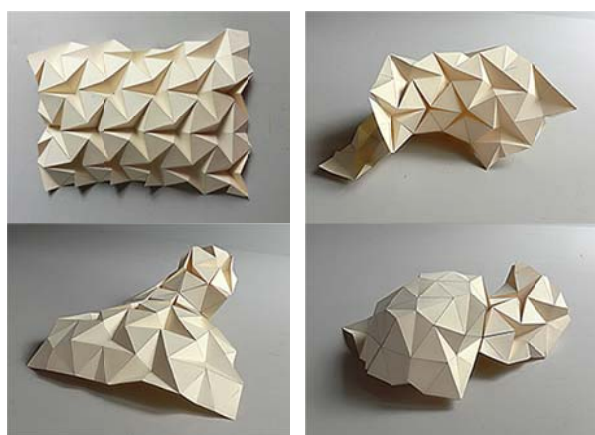


Рис. 7. Неразрезные ячеистые структуры  
Трансформация плоскостной формы  
в объемную. Геоморфизм ячеистых структур

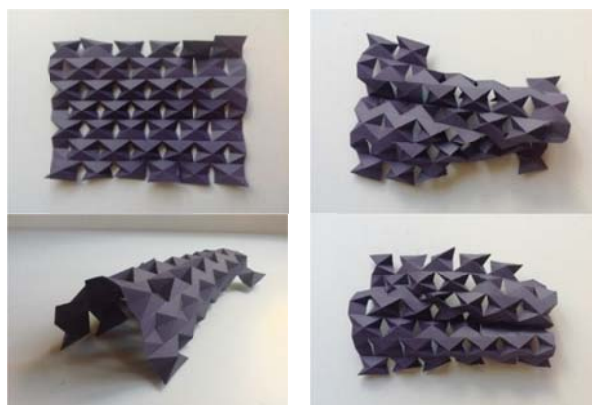


Рис. 8. Разрезные ячеистые структуры  
Трансформация плоскостной формы в объемную

Можно сделать вывод, что деформация структуры подчиняется определенной логике. Воздействие на какую-либо точку структуры за счет работы связей влечет изменение местоположения близлежащих плоскостей в пространстве. Можно задавать различные алгоритмы воздействия на структуру, которые дают вполне прогнозируемый результат. Таким образом, связи элементов структур носят закономерный характер, в котором проявляется взаимозависимость и реализуется принцип параметризма.

Исследование геометрии неразрезных бумажных структур выявляет три особенности их геометрической организации [4].

1. «Звездчатые» структуры при сложении позволяют получить оболочки положительной или отрицательной гауссовой кривизны [5], а также оболочки, сочетающие положительную и отрицательную кривизну. При этом внешний вид оболочки может представлять из себя аналитическую форму или форму сложной геометрии. (рис. 9).

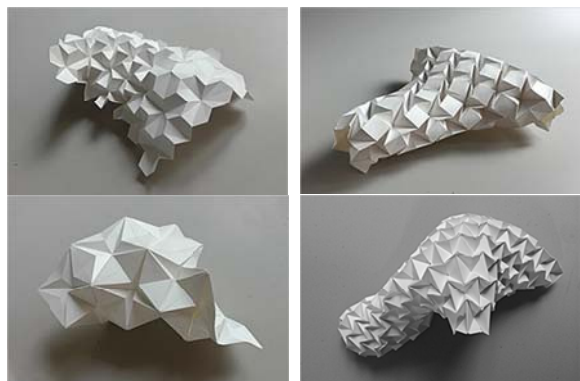


Рис. 9. «Звездчатые» бумажные структуры



2. «Линейчатые» структуры имеют свойства нулевой и положительной гауссовой кривизны (рис. 10). Геометрия такого рода форм может принимать вид сферы, полусферы, арки или цилиндра.

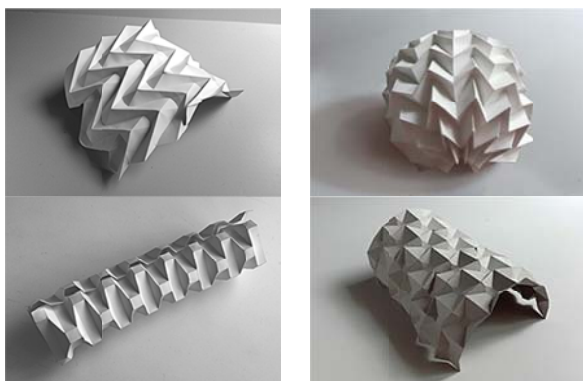


Рис. 10. «Линейчатые» бумажные структуры

3. «Вращательные» структуры, обладающие упруго-гибкими свойствами, при полном сложении образуют винтовые и спиральные поверхности (рис. 11).

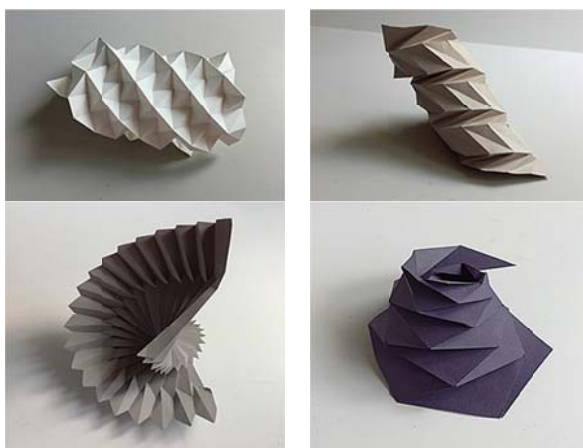


Рис. 11. «Вращательные» бумажные структуры

Структуры имеют различный диапазон формообразования. Структуры, имеющие «звездчатую» основу, способны к большему количеству изменений формы, «линейчатые» и «вращательные» – более ограничены. Изменение геометрии и числа ячеек внутри определенного формата позволяет получить поверхности различной толщины и различной вариативности возможных форм.

Таким образом, мы видим, что геоморфизмы структурных деформаций зависят от следующих факторов: типа ячеис-

той структуры (разрезная или неразрезная); геометрии структуры («звездчатая», «линейчатая» или геометрия «вращения»), а также количества ячеек на единицу площади.

Конструктивная работа ячеистых структур сложна и очень разнообразна. Это связано с многообразием форм, которые получаются в результате структурирования бумажной плоскости. В «звездчатых» структурах наиболее ярко проявляются свойства анизотропности [6] – способности принимать различные положения и сопротивляться нагрузкам в самых различных направлениях (нормальные, касательные усилия, а также изгибающие моменты). «Линейчатые» структуры могут служить экспериментальными пособиями для изучения ребристых оболочек и напряжений, возникающих в них. Усилия, возникающие в объемах такого рода, работают преимущественно в одном направлении. Свойства анизотропности в них проявляются в виде ортотропии [6] – неодинаковости свойств по взаимно перпендикулярным направлениям. В структурах «вращательного» вида свойства анизотропности проявляются в жесткости в поперечном направлении, а также способности скручивания структуры в продольно-поперечном направлении. Таким образом, изучаемые модели-структуры дают возможность исследовать принцип работы (механизм сопротивления внешним нагрузкам) пространственных несущих конструкций.

Комбинаторно-поисковое формообразование бумажных ячеистых структур дает возможность создавать структурированные поверхности, разнообразные по форме и художественному образу. В некоторых из них проявляются свойства атектоничности структурной формы. Атектоничность является естественным свойством ячеистой поверхности и проистекает из ее математических свойств. Используя эти свойства, можно создавать макетные формы, визуальный образ которых не производит впечатления прочности и устойчивости. Форма может восприниматься как неустойчивая: летящая, вращающаяся, падающая.

На кафедре «Дизайн архитектурной среды» архитектурного факультета в рамках дисциплины «Скульптура и макетирование» студенты ведут активный поиск архитектурного формообразования, используя принцип структурирования бумаги. Результатом этих экспериментов явились разнообразные макеты, демонстрирующие широкие возможности применения структурной пластики в учебном макетировании (рис. 1, см. цв. вкладку).

**Заключение.** Тектоника структурной бумажной пластики продиктована специфическими приемами ее организации и, соответственно, особыми технологическими свойствами и эстетикой. Она проявляется в геоморфической многовариантности формообразования. При этом наблюдается способность перехода структурной формы от тектоничности к атектоничности. Эти свойства структурной пластики имеют значение в обучении будущих специалистов-архитекторов. Особый подход к технологически-конструктивным свойствам материала и широким возможностям комбинаторики позволяют будущему специалисту расширить творческие поиски, глубже исследовать современные способы организации формы.

#### *Литература:*

1. Гропиус, В. *Границы архитектуры* / В. Гропиус ; пер. А. С. Пинскер. *Предложения по созданию учебного заведения в качестве консультационной организации по художественным вопросам для промышленного, ремесленного и кустарного производства* / В. Гропиус ; пер. В. Г. Калиша. *Идея и структура Баухауза* / В. Гропиус ; пер. В. Р. Ароновой. – М. : Искусство, 1971. – 174 с.
2. Фоменко, А. Т. *Наглядная геометрия и топология. Математические образы в реальном мире* / А. Т. Фоменко. – М. : Издательство Московского университета, ЧеРо, 1998. – 417 с.
3. Кишик, Ю. Н. *Архитектурная композиция* / Ю. Н. Кишик. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 206 с.
4. Вишнякова, Е. Н. *Структура как принцип композиционно-художественной организации архитектурной формы (на примере учебного проектирования): магист. дис. : 23.12.2019* / Е. Н. Вишнякова; БНТУ. – Минск, 2019. – 71 с.
5. *Математика* / под ред. Ю. В. Прохоров, С. И. Адян и др. – М. : Большая Российская энциклопедия, 1998. – 140 с.

6. Ашкенази, Е. К. *Анизотропия конструкционных материалов* / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Ленинград : Машиностроение, 1980. – 251 с.

7. *Livejournal [Электронный ресурс] / Hidden faces : Josef Albers (1888–1976) Йозеф Альберс.* – Режим доступа: <https://art-portrait.livejournal.com/24260.html>. – Дата доступа: 25.02.2024.

8. *My World.ru [Электронный ресурс] // Часовня военно-воздушной академии США.* – Режим доступа: <https://omyworld.ru/7004>. – Дата доступа: 25.02.2024.

9. *Amazing Architecture [Электронный ресурс] // Art Tower Mito in Japan by Arata Isozaki.* – Режим доступа: <https://amazingarchitecture.com/skyscrapers/art-tower-mito-in-japan-by-arata-isozaki>. – Дата доступа: 30.12.2023.

10. *Турнавигатор [Электронный ресурс] // Мир BMW [Мюнхен].* – Режим доступа: <https://tournavigator.pro>. – Дата доступа: 10.02.2024.

## **ARCHITECTURAL MODELING USING CELLULAR PAPER STRUCTURES**

*Vishnyakova E. N.*

**Master of Architectural Design  
senior lecturer of the department**

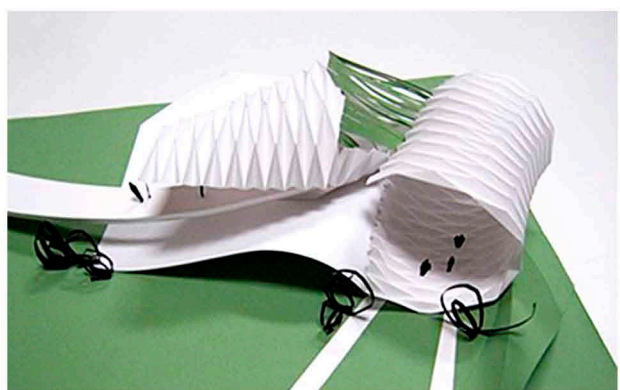
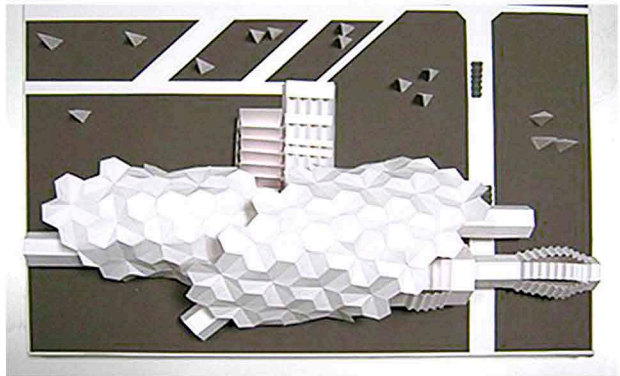
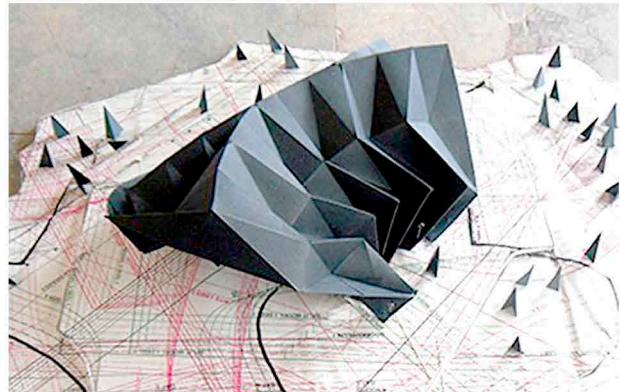
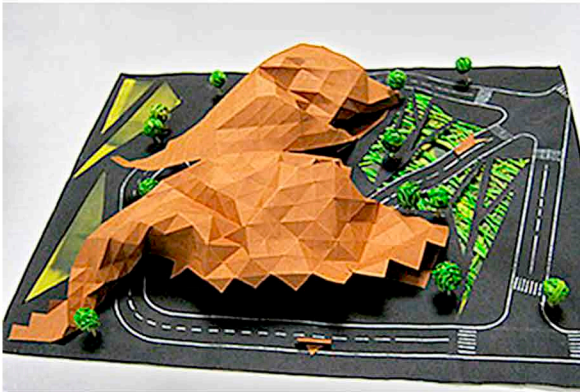
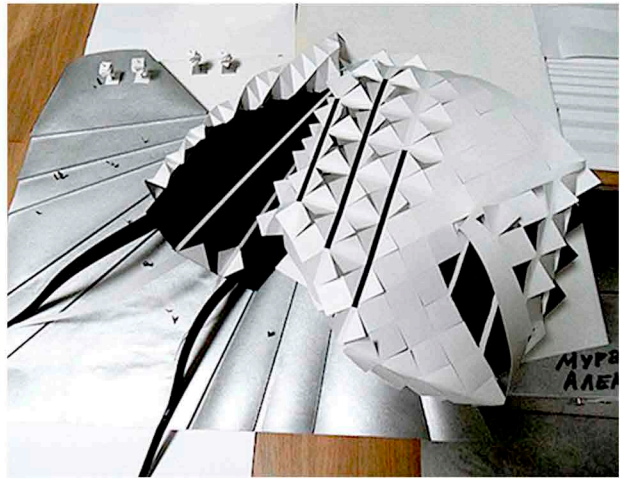
**"Design of the architectural environment"  
Belarusian National Technical University**

The development of modern innovative technologies in architecture and construction, as well as computer design technologies, has created opportunities for the emergence of new architectural forms and building structures. Since the middle of the 20th century, objects began to appear whose surface had a cell at its base. The use of this principle made the creation of more dynamic architectural forms possible. The purpose of this article is to study the capabilities of cellular paper structures in educational architectural modeling.

**Key words:** cellular paper structure, tectonics of cellular structures, compositional and artistic techniques for organizing the structural form, planar geometric appearance of the form, structural changes of positive and negative Gaussian curvature, anisotropy of structural shells, atectonicity of the structural form.

*Поступила в редакцию 31.01.2024 г.*





*Рис. 1. Применение структурных ячеистых форм в учебном макетировании. В основе объемных форм лежат структуры, организованные с помощью различных технологических приемов. Работы студентов АФ БНТУ*

**Вишнякова Е. Н. АРХИТЕКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЧЕЙСТЫХ БУМАЖНЫХ СТРУКТУР**