

УДК 004:72.021.2

**В. Г. Темнов**

## **МАКЕТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В ДИЗАЙНЕ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

Предлагается принимать решение при выборе энергоэффективных строительных объектов исходя из количественных и качественных параметров применяемых конструкций. При таком подходе количественные параметры позволяют определить необходимую массу конструкций, связанную с материализацией форм и структур создаваемых строительных объектов, а качественные параметры — реально оценить несущие (прочность, жесткость и устойчивость) и ограждающие (тепло-, звуко- и влагозащита) свойства конструкций. Поиск конструктивного решения предлагается осуществлять на основе математических методов оптимизации с использованием средств САПР. Это дает возможность за разумное время разработать достаточное количество вариантов для последующего выбора рационального конструктивного решения строительного объекта среды обитания.

**Ключевые слова:** энергоэффективность строительных объектов, утилитарное пространство, виртуальное пространство, евклидова геометрия, золотая пропорция, графическая модель объекта, напряженно-деформированное состояние (НДС), несущая способность конструкции (прочность, жесткость и устойчивость), ограждающая способность конструкции (тепло-, звуко- и влагозащита), математические методы оптимизации, системы автоматизированного проектирования (САПР).

In this paper the authors propose to solve the problem when choosing energy-efficient objects in terms of quantity and quality of applied structures. With this approach, the quantitative parameters allow determining the required mass of structures related to the materialization of the forms and structures of the objects under construction, whereas quality parameters allow the realistic assessment of bearing (strength, stiffness and stability) and enclosing (heat, sound and moisture protection) properties of structures. The search for the desired design solution is proposed to be carried out based on mathematical methods of optimization using CAD. This allows developing a sufficient number of options for a short period of time for further choice of a rational solution of the building project of environment.

**Key words:** energy efficiency of buildings, utilitarian space, virtual space, Euclidean geometry, golden proportion, graphic model of the object, stress-strain state (SSS), bearing capacity of structure (strength, stiffness and stability), enclosing capacity of structure (heat, sound and moisture protection), mathematical optimization techniques, computer-aided design (CAD).

Становление и бытие человека на планете Земля определяются естественной или искусственной средой обитания [1], первоосновой которой являются утилитарные (лат. *utilitas* — польза) пространства с их многообразием форм и структур.

Под этими пространствами понимаются пространства, вмещающие людей, технологическое оборудование, предметы средового наполнения, которые обеспечивают протекание в них процессов физической и духовной человеческой жизнедеятельности (рис. 1).

С позиции евклидовой геометрии эти пространства могут иметь кубическую, цилиндрическую, гиперболическую, параболическую, сферическую или иные формы, получаемые на основе их комбинаций. Причем эти формы могут быть образованы односторонними (рис. 2, *а*) или двусторонними поверхностями (рис. 2, *б*).



Рис. 1. Бумажный дом, озеро Яманака, Япония (architect Shigeru Ban [2])

При этом форма и структура утилитарного пространства должны выбираться из соображений практичности (пользы и прочности), комфорта и художественно-эстетического качества, с позиции дизайнерского стиля.

Формируя утилитарное пространство, дизайнер не должен осуществлять простое арифметическое сложение полезности, прочности и красоты, а обязан интегрировать упомянутые факторы, влияющие на форму и структуру пространства на основе *социального, экологического, эстетического осмысления с учетом ресурсосбережения.*

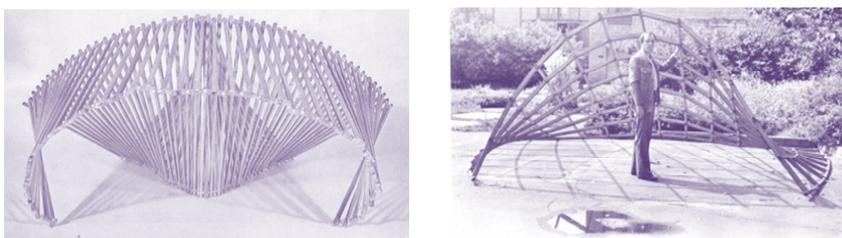


Рис. 2. Формы утилитарного пространства, построенные на основе трансформируемых конструкций бионического типа (архитектор Ю. С. Лебедев, дизайнер В. И. Тимофеев, инженер В. Г. Темнов; а. с. № 755972, № 939677)

Реальное возникновение и дальнейшее существование утилитарного пространства среды обитания непосредственно связано с его материализацией несущими и ограждающими строительными конструкциями, которые не только выделяют и организуют это пространство, но и в сочетании с ним определяют художественный образ создаваемого объекта среды обитания (рис. 3).

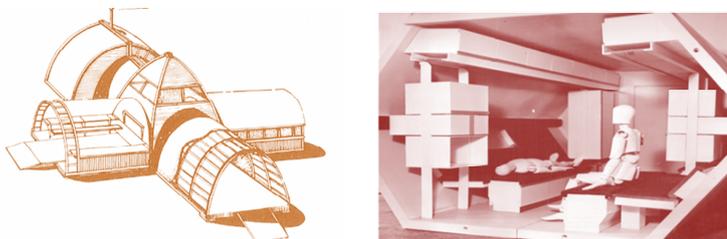


Рис. 3. Жилой и культурно-бытовой комплекс для лесозаготовителей Сибири, разработанный на основе бионических конструкций резильянского типа (архитектор Ю. С. Лебедев, дизайнер Е. Н. Поляков, инженер В. Г. Темнов [3])

Однако следует отметить, что *объем утилитарного пространства* среды обитания определяется не только *качественно* — его *формой* и *структурой*, но и *количественно* — метрическими соотношениями между геометрическими параметрами самого пространства: *длиной*  $l$ , *шириной*  $b$ , *высотой*  $h$ .

При формировании пространства практическое применение находят такие способы упорядочения его, как ряды Фибоначчи, динамические прямоугольники Хэмбиджа, модуль Ле Корбюзье, а также золотая пропорция.

Золотая пропорция — это когда одна часть относится к другой, как все целое к большей части:  $\frac{b}{h} = \frac{l}{b}, \frac{b}{h} = \frac{b+h}{b}$ .

Запишем данную пропорцию в виде следующего квадратного уравнения:  
 $h^2 + bh - b^2 = 0.$  (1)

При заданном значении  $b$  корни уравнения (1) имеют вид

$$h_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4b^2}}{2} = \frac{-b + \sqrt{5b^2}}{2} = 0,618b, l_1 = 1,618b;$$

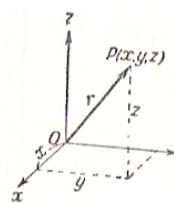
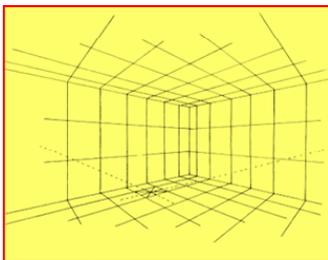
$$h_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 + 4b^2}}{2} = \frac{-b - \sqrt{5b^2}}{2} = -1,618b, l_2 = -0,618b. \quad (2)$$

При заданном значении  $h$  корни уравнения (1) имеют вид

$$b_1 = \frac{-h - \sqrt{h^2 + 4h^2}}{2} = \frac{-h - \sqrt{5h^2}}{2} = 1,618h, l_1 = 2,618h;$$

$$b_2 = \frac{-h + \sqrt{h^2 + 4h^2}}{-2} = \frac{-h + \sqrt{5h^2}}{-2} = -0,618h, l_2 = 0,382h. \quad (3)$$

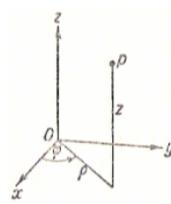
Полученные корни квадратного уравнения (1) представляют геометрические параметры утилитарного пространства, образованного с учетом золотой пропорции. Такие пространства с позиции евклидовой геометрии могут быть представлены в виде трехмерной модели в прямоугольной (декартовой), цилиндрической или сферической системах координат (рис. 4).



$$x = b$$

$$y = l$$

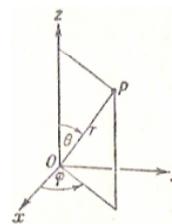
$$z = h$$



$$x = \rho \cos \varphi$$

$$y = \rho \sin \varphi$$

$$z = z$$



$$x = r \sin \theta \cos \varphi$$

$$y = r \sin \theta \sin \varphi$$

$$z = r \cos \theta$$

Рис. 4. Трехмерная модель утилитарного пространства с золотой пропорцией между его геометрическими параметрами

Что же касается *конструкций*, то их *объем*, а точнее *масса* (материалоемкость) *количественно* зависит от степени необходимой материализации *формы* и *структуры* создаваемого утилитарного пространства, а *качественно* определяется их *несущей* (прочностью, жесткостью и устойчивостью) и *ограждающей* (тепло-, звуко- и влагозащитой) *способностями*.

В качестве предварительной количественной оценки массы конструкций, необходимой для материализации создаваемого утилитарного пространства, успешно используется критерий эффективности, представляющий отношение массы конструктивной системы к объему материализуемого пространства:

$$f(x_m) = \min \{((1, x_m)/V(x_m)) | x_m \in R_+^n\} \text{ (кг/м}^3\text{)}, \quad (4)$$

где  $1 = (1_1, 1_2, \dots, 1_i, \dots, 1_n)$  — сумм-вектор  $n$  элементов конструктивной системы;  $x_m = (x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mi}, \dots, x_{mn})$  — искомый вектор значений масс элементов конструктивной системы;  $V(x_m)$  — функция объема утилитарного пространства, м<sup>3</sup>;  $R_+^n$  — неотрицательный ортант  $n$ -мерного вещественного евклидова пространства.

Нахождение рациональной величины массы, обеспечивающей качество конструкции, определяемое ее несущей и ограждающей способностями, возможно на основе решения задачи оптимизации конструктивных систем по стоимости, руб., или энергозатратам, Дж:

$$f(x_m) = \min_{x_m \in R_+^n} \{(c^m, x_m)(e_m, x_m)\} \text{ (руб. или Дж)} \quad (5)$$

при ограничениях

$$q_j(x_m, x_f) = 0 \quad (j = \overline{1, k}) \quad (6)$$

условия статического равновесия конструктивной системы;

$$\varphi_j(x_m, x_d) = 0 \quad (j = \overline{(k+1), n}) \quad (7)$$

физические условия и условия совместности деформаций конструктивной системы;

$$\psi_1(x_m, x_f) \leq 0 \quad (j = \overline{(n+1), 2n}) \quad (8)$$

условия прочности и устойчивости конструктивной системы;

$$\zeta_j(x_m, x_b) \geq 0 \quad (j = \overline{(2n+1), 3n}) \quad (9)$$

условия, обеспечивающие теплоизоляцию конструктивной системы;

$$\xi_j(x_m, x_s) \geq 0 \quad (j = \overline{(3n+1), 4n}) \quad (10)$$

условия, обеспечивающие звукоизоляцию конструктивной системы;

$$\eta_j(x_m, x_w) \geq 0 \quad (j = \overline{(4n+1), 5n}) \quad (11)$$

условия, обеспечивающие влагозащиту конструктивной системы.

Здесь  $c^m$  — вектор стоимостей единицы массы материала  $n$  элементов;  $e_m$  — вектор энергозатрат на единицу массы материала  $n$  элементов;  $x_f, x_d$  — векторы соответственно усилий и деформаций в элементах конструктивной системы;  $x_b, x_s, x_w$  — векторы соответственно параметров теплоизоляции, звукоизоляции и влагозащиты элементов конструктивной системы;  $k$  — количество узловых сопряжений элементов конструктивной системы.

Таким образом, создание конструктивных систем на основе законов механики и строительной физики открывает неограниченные возможности в выборе форм и структур утилитарного пространства. При этом конструкции не только могут быть скрыты эстетическими формами, выполняя лишь несущую, ограждающую роль или ту и другую, но и могут сами являться формо- и структурообразующей основой, *эстетическим средством* при разработке дизайна объекта среды обитания (рис. 5).

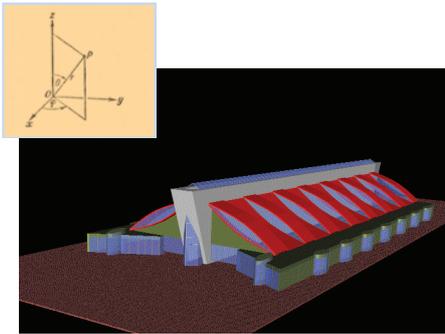


Рис. 5. Торговый центр в Химках (инженер В. Г. Темнов, архитектор Ю. Н. Букса)

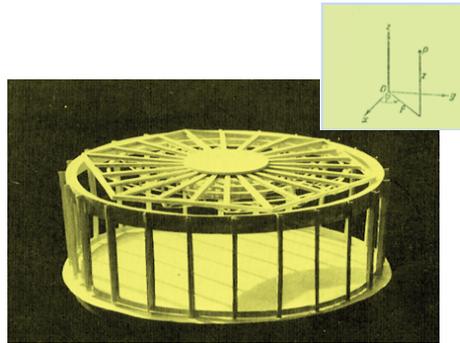


Рис. 6. Композиция концертного зала (инженер В. Г. Темнов, дизайнер Л. Г. Фаорова)

Именно несущие и ограждающие строительные конструкции, выполненные из современных (алюминиевые, магниевые, титановые сплавы, полимеры, металлопластик и др.) и усовершенствованных традиционных материалов (сталь, дерево, бетон, стекло и др.), расширяют возможности дизайнера не только при выборе эстетической концепции, но также при создании художественного образа объекта среды обитания.

Новые возможности открылись для дизайнера при конструировании средовых объектов на базе средств САПР (системы автоматизированного проектирования). В этом случае у дизайнера появились возможности в автоматизированном режиме зрительно осуществлять творческий поиск от интуитивных воспроизведений архетипов (гр. *arche* — начало, *typos* — образ) до получения геометрических форм, структур утилитарного пространства, отвечающих строительным правилам и нормативам конструирования.

Использование средств САПР позволяет за разумное время разработать достаточное количество вариантов для дальнейшего выбора рационального конструктивного решения объекта среды обитания с позиции функциональности, материалоемкости, экологичности, эстетического облика и энергозатрат. В этом случае также возможно изменение методологии конструирования. Особенно неограниченные возможности конструирования утилитарного пространства открываются перед дизайнером при применении методологии Ф. Гери [4], объединяющей процессы эскизного поиска художественного образа с разработкой макета средового объекта (рис. 6, а, б; 7, а) и последующим компьютерным конструированием последнего (рис. 6, в, г; 7, б).

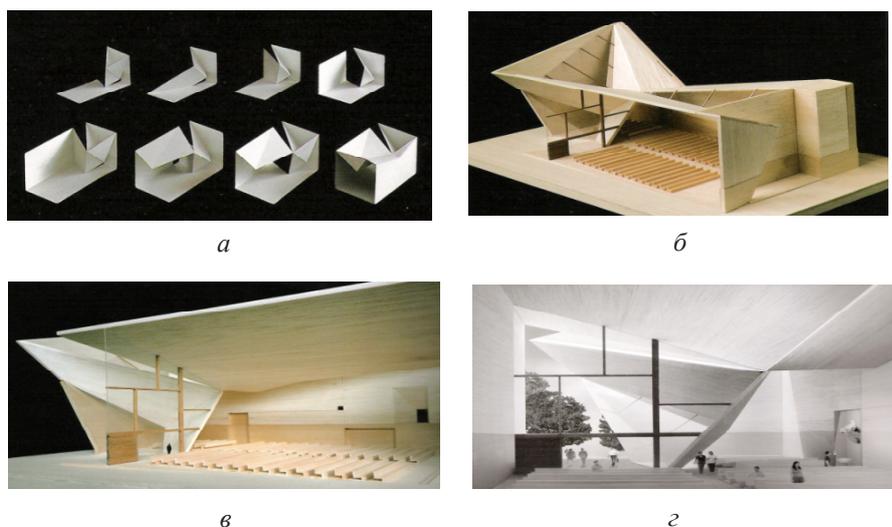


Рис. 6. Парижский центр в Иране (architect Juan Osinaga): *а, б* — процесс создания макета средового объекта; *в, z* — компьютерное конструирование средового объекта

Макеты выполняются из бумаги, картона, пластика или могут быть вылеплены из глины, пластилина, воска и других материалов.

Компьютерное конструирование средового объекта осуществляется непосредственно в виртуальном пространстве на основе трехмерной модели, являющейся точной копией макета. Для этого предварительно делаются цифровым фотоаппаратом снимки макета с различных ракурсов, на основе которых в компьютере создается точная графическая модель выбранного художественного образа, которая в дальнейшем корректируется, изменяется в соответствии с нормативными требованиями, предъявляемыми к утилитарному пространству и конструкциям реального средового объекта.

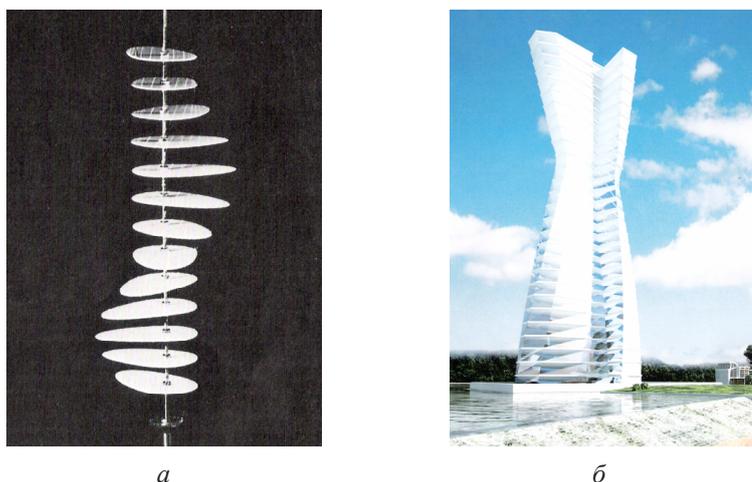


Рис. 7. Высотный дом административного центра в Санкт-Петербурге: *а* — макет средового объекта «Дискретная турбосома» (архитектор Ю. С. Лебедев, дизайнер В. И. Тимофейчев, ЦНИИТиА, г. Москва [3]); *б* — компьютерное конструирование средового объекта — высотного дома административного центра. Курс. работа студентов Невского института управления и дизайна (Т. П. Банников, Л. В. Пучкова, рук. проф. В. Г. Темнов)

Разработка конструктивных вариантов средового объекта с позиции его функционального назначения, конструктивно-композиционных решений и эстетического облика может проводиться на базе успешно применяемых в практике проектирования программных комплексов: AutoCAD, ArchiCAD, Nemetschek и других современных программных средств САПР.

Создаваемый в виртуальном пространстве средовой объект корректируется, изменяется в соответствии с требованиями нормативно-технических документов (СНиП, ГОСТ, ОСТ и др.). При этом широко используются альбомы с типовыми конструктивными решениями, материалы электронных баз данных и знаний (БзДиЗ), а также информация из Интернета.

Инженерные расчеты конструкций объекта начинаются с определения его напряженно-деформированного состояния (НДС) от действия сил гравитации, атмосферных воздействий и эксплуатационных нагрузок. В результате чего определяются усилия, деформации, перемещения, которые в полной мере отражают степень напряженности и деформирования конструкций, подверженных нагружению. Полученные поля распределения напряжений, деформаций, перемещений (рис. 8) позволяют грамотно использовать конструкции в качестве *эстетических средств* при разработке дизайна объекта среды обитания, не снижая их несущие способности. Сам объект постоянно должен находиться в устойчивом равновесном состоянии. Для этого выполняется расчет конструкций на прочность, жесткость и устойчивость. Если конкретное равновесное состояние не устойчиво, то под действием тех же внешних нагрузок и принятых физико-механических и геометрических параметров объект может перейти в новое равновесное состояние. Если это равновесное состояние как для отдельных элементов, так и системы в целом устойчиво, то разрушения не произойдет. В противном случае не избежать разрушения объекта.

Сам расчет несущих и ограждающих конструкций (рис. 9) средовых объектов (зданий и сооружений), подверженных воздействиям: силовым (статическим и динамическим), температурным, влажностным — с позиции определения их прочности, долговечности, тепло- и звукоизоляции, пожарной безопасности и эстетического восприятия — осуществляется на базе вычислительных комплексов LIRA, SCAD, Nemetschek и других современных программных средств САПР. При этом используются справочно-методические пособия по основам конструирования [5], система нормативно-технических документов (СНиП, ГОСТ, ОСТ и др.) при расчете несущих и ограждающих конструкций средовых объектов по прочностным, теплофизическим, акустическим, технологическим характеристикам.

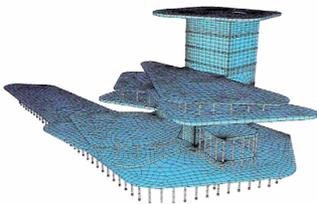


Рис. 8. Поля напряжений в конструкциях от действия внешних сил



Рис. 9. Выбор параметров ограждающих конструкций с позиции тепло- и звукоизоляции

Предварительно сметно-экономические расчеты средового объекта могут осуществляться по существующим укрупненным нормативам и показателям стоимости строительных конструкций. При этом могут быть использованы методические основы определения сметной стоимости строительно-монтажных работ. Окончательная сметная стоимость средового объекта определяется на основе экономических расчетов, использующих сметно-нормативные базы системы ценообразования.

Сам экономический расчет сметной стоимости несущих и ограждающих конструкций средовых объектов осуществляется в автоматизированном режиме с использованием программных комплексов AROS, KRISTAL, БАРС, СМЕТНЫЙ КАЛЬКУЛЯТОР.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Темнов В. Г.* Принятие конструктивных решений при проектировании искусственной среды обитания // Актуальные вопросы совершенствования системы высшего профессионального образования : сб. науч. трудов № 2. СПб. : Невский институт управления и дизайна, 2010. С. 183—191.

2. Новейшая архитектура / под ред. Филипа Ходидьо ; пер. с англ. А. М. Ведюшкина. М. : АСТ: Астрель, 2008. 192 с.

3. IL32 Katalog einer ausstellung in Moskau "Naturliche Konstruktionen". Stuttgart : Universitat Stuttgart, 1983.

4. *Туркатенко М. Н.* Архитектура в эпоху высоких технологий // Кровли. 2010. № 2.

5. *Орлов П. И.* Основы конструирования : справочно-методическое пособие. М. : Машиностроение, 1988. 560 с.

1. *Temnov V. G.* Prinyatie konstruktivnykh resheni pri proyektirovanii iskusstvennoi sredy obitaniya // Aktualnye voprosy sovershenstvovaniya sistemy vysshego professionalnogo obrazovaniya : sb. nauch. trudov № 2. SPb. : Nevski institute upravleniya i dizayna, 2010. S. 183—191.

2. Noveyshaya arkhitektura / pod red. Filipa Khodidio ; per s angl. A. M. Vedyushkina. M. : AST : Astrel, 2008. 192 s.

3. IL32 Katalog einer ausstellung in Moskau "Naturliche Konstruktionen". Stuttgart : Universitat Stuttgart, 1983.

4. *Turkatenko M. N.* Arkhitektura v epokhu vysokikh tekhnologi // Krovli. 2010. № 2.

5. *Orlov P. I.* Osnovy konstruirovaniya : spravochno-metodicheskoye posobie. M. : Mashinostroyeniye. 1988. 560 s.

© *Темнов В. Г.*, 2012

*Поступила в редакцию  
в ноябре 2011 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Темнов В. Г.* Макетирование и компьютерное конструирование объектов в дизайне среды обитания // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 1(20).