

# ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАК НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

**А.В. Радзюкевич, Г.В. Козлов**

*Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия,  
Новосибирск, Россия*

## **Аннотация**

В работе поставлена проблема изучения архитектурных основ архитектурного формообразования. Выдвигается предположение, что для решения проблемы необходимо детальное изучение возможностей новых инженерных программ САЕ (Computer-aided engineering). Произведено виртуальное моделирование классических архитектурных форм, которым были заданы определенные физические свойства. Представлены результаты виртуальных экспериментов с простейшими геометрическими объектами. На основании технологии виртуального оптимизационного проектирования предложен новый инструментальный формообразования, условно названный адаптивно-тектоническим. Обозначена типология характерных тектонических узлов. Обосновывается необходимость разработки и внедрения в учебный процесс архитектурно-дизайнерских ВУЗов методических материалов, позволяющих студентам осуществлять виртуальное моделирование различных физических процессов, происходящих в создаваемых ими геометрических моделях.

**Ключевые слова:** архитектура, архитектурное формообразование, оптимизационное проектирование, виртуальное моделирование физических процессов, расчетные инженерные программы, САЕ (Computer aided engineering)

# VIRTUAL MODELING PHYSICAL PROCESSES AS NEW ARCHITECTURAL FORMING TOOLS

**A.Radzjukevich, G.Kozlov**

*Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia*

## **Abstract**

The article raised the problem of studying the architectonic basis of architectural forming. The speculation is that it's necessary to study the potentialities of new engineering programs CAE (Computer-aided engineering) in detail for solving the problem. The virtual simulation of classical architectural forms has been produced. These forms had been given certain physical properties. The results of virtual experiments with simple geometric objects have been presented. Based on the technology of the virtual design optimization are offered new formation tools, the provisional name is adaptive-tectonic. The typology of the characteristic tectonic units has been designated. The need for implementation of teaching materials in the learning process of universities for architecture and design is substantiated. These teaching materials allow students to perform virtual simulation of different physical processes taking place in that they create geometric models.

**Keywords:** architectonic, architectural forming, optimal design, virtual simulation of physical processes, design engineering programs, CAE (Computer-aided engineering)

«Задача архитектурного творчества — приближать реальное к идеальному»  
Из материалов международного архитектурного конгресса  
(Париж, август 1900г.)

Архитектурная форма, будучи материальной, обладает одной очень важной особенностью, которая, на наш взгляд, еще недостаточно хорошо изучена. Особенность эта связана с наличием скрытых сил, возникающих в материале от воздействия всевозможных физических нагрузок. Разумеется, эти силы достаточно подробно изучены в различных разделах физики, теории упругости, сопротивления материалов, теоретической механики и т.д. Кроме того, большой интерес данная тема представляет также и для архитектурной науки, в которой проблема художественно-образного осмысления невидимых глазом сил, т.е. архитектоники, считается одной из центральных. По теме архитектоники проведены серьезные теоретические исследования таких отечественных ученых, как Б. Николаев, А.И. Некрасов, В.Ф. Маркузон, В.П. Зубов, А.Г. Габричевский, Ю.С. Лебедев, В.Г. Бархин, А.Э. Гутнов, М.В. Шубенков и др.

Специфика темы заключается в том, что скрытость внутренних сил для глаза приводит к необходимости привлечения сложных инженерных расчетов или интуиции. Охватывая сферы логического и образного мышления, и выявляя точки их соприкосновения, архитектурная тема относится к числу самых трудных в архитектуре. Принято считать, что архитектор - профессионал должен уметь охватывать обе эти сферы деятельности, однако в современном образовательном процессе и, зачастую, в практической деятельности, такое взаимодействие осуществляется с большим трудом. В подавляющем большинстве случаев студентам очень трудно уловить взаимосвязь между логикой архитектурного формообразования и точными аналитическими расчетами, основанными на абстрактном моделировании физических процессов.

По нашему предположению, эффективным инструментом решения этой проблемы могут стать появившиеся в последние годы новые программные продукты, позволяющие моделировать и визуализировать самые различные физические процессы. В частности, наряду с широко используемыми в архитектурной практике программами комплексного проектирования (Allplan, Revit, ArchiCAD, SCAD Office и др.), применяются также специализированные расчетные инженерные программы CAE (computer-aided engineering) - ANSYS, Autodesk Revit Structure, Autodesk Inventor, Cosmos-M GeoStar, NASTRAN и др. Благодаря использованию этих программ у архитекторов появилась возможность решать почти все проектные задачи, поддающиеся формализации и алгоритмизации.

К ним можно отнести почти все разделы строительной физики (теплозащита, звукоизоляция, акустика, инсоляция и т.д.) и строительной механики (сопромат, теория устойчивости, теория пластичности), теорию сооружений (статика, динамика, устойчивость сооружений), строительные конструкции, геофизику и т.д. Кроме того, в проектировании используются виртуальные модели аэродинамических и гидродинамических потоков. Моделируются также всевозможные динамические процессы, что важно для решения задач в сфере промышленного дизайна. Но, несмотря на такое огромное многообразие соответствующих проектным задачам программных продуктов и приложений, в большинстве архитектурно-дизайнерских школ РФ студенты, как правило, занимаются только формированием чертежей и 3D моделей с последующей визуализацией проектируемых объектов. Фактически компьютер используется только как инструмент геометрического моделирования, что составляет мизерную часть от реальных возможностей современного программного обеспечения.

Очевидно, что для полноценного проектирования, помимо создания «красивых картинок», необходимо еще уметь производить физическое моделирование, т.е. придавать геометрическим моделям определенные физические свойства с целью их исследования. Как это ни странно, но студенты зачастую даже не осознают, что, проектируя какой-либо крупный объект, они оперируют огромными массами, достигающими тысячетонных значений. По всей видимости, одной из причин такого непонимания служат выполняемые

студентами, композиционные макетные упражнения, которые не выходят за рамки учебных игр с невесомой формой из бумаги и картона.

Главная сложность проблемы заключается в том, что изучение новых продуктов и их адаптация к учебному процессу являются отдельной большой организационной и научно-методической работой, требующей участия целой группы разнопрофильных специалистов. Актуальность этой работы связана с тем, что многие учебники (сопромат, теоретическая механика, строительная механика и т.д.) морально устарели, так как в них визуализация условий и поведение проектируемого объекта представлены в предельно абстрактном виде. Зачастую такие учебники содержат только формулы, графики, эпюры и схемы, которые воспринимаются студентами с определенным трудом. А появившиеся многочисленные учебники по компьютерной графике ориентированы, прежде всего, на моделирование геометрии проектируемых объектов и на выполнение чертежно-графических задач. Учебных пособий, ориентированных на выполнение автоматизированных расчетов и прикладных проектных задач, почти нет.

В связи с этим, нами была предпринята попытка изучения некоторых расчетных программных продуктов на предмет их «встраивания» в учебный процесс архитектурно-дизайнерского ВУЗа. Накопленный нами некоторый опыт работы в данном направлении дает возможность обозначить целый ряд возможностей новых программных продуктов.

Прежде всего, следует отметить, что появилась возможность осуществлять визуализацию распределения эквивалентных напряжений как на поверхности, так и внутри анализируемого конструктивного элемента. С помощью использования цветовой индикации или, по, так называемой, шкале фон Мозеса (von-Mises), происходит автоматическое закрашивание объекта разными цветами. Условно принято считать, что чем меньше напряжение в материале, тем «холоднее» цвет закрашивания (синий, голубой). И, наоборот, участки, работающие с большим напряжением, закрашиваются «теплыми» и «горячими» цветами (желтый, красный). В этом случае, информация о работе элемента приобретает предельную наглядность, что очень важно для восприятия изучаемого материала студентами архитектурно-дизайнерского профиля. В качестве примера сопоставим два изображения, иллюстрирующие работу консоли. Одно изображение взято из трактата Галилео Галилея (1638 год издания), а второе изображение выполнено в наши дни с помощью современной расчетно-конструкторской программы (Рис. 1).

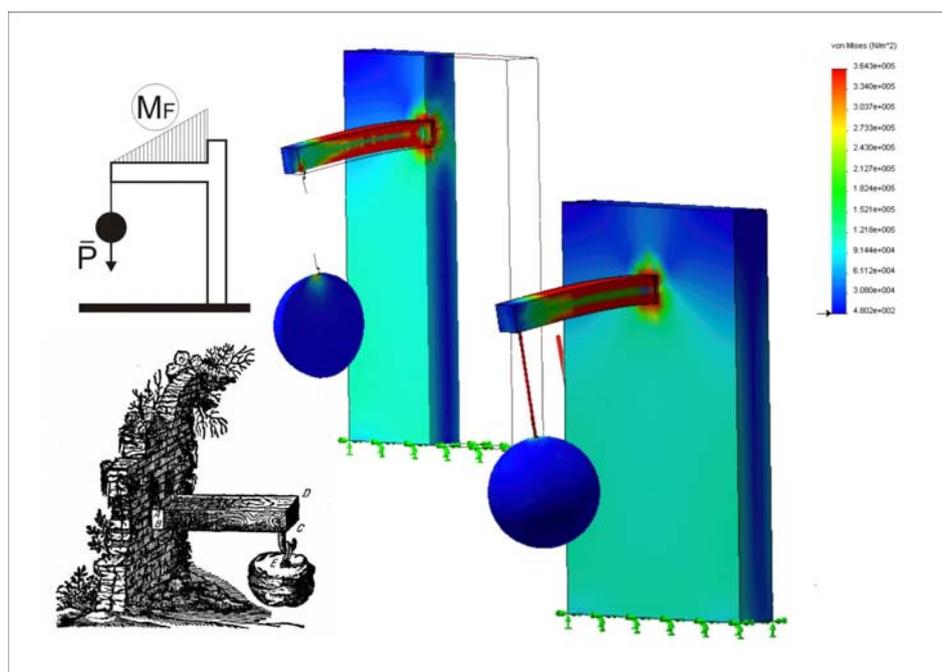


Рис. 1. Иллюстрация из трактата Галиево Галилея (слева), и результат расчета методом конечных элементов в программе Cosmos-M GeoStar

Без всяких формул и расчетов хорошо видно, как деформируется консоль, и как распределяются в ней напряжения. Участки консоли, обозначенные красным цветом, работают на пределе. В тоже время, видно, что участки консоли, стены и шара, закрасненные синим цветом, практически не работают. Такая наглядность позволяет визуально понять характер работы конструкции и оценить ее тектонические особенности.

От простейшей формы консоли перейдем к более сложным геометрическим объектам — колоннам памятников архитектуры. Моделирование ряда древнеегипетских и древнегреческих колонн в инженерной расчетной программе, с заданием определенных физических параметров, дало возможность предельно наглядно представить картины распределения напряжений в этих объектах (Рис. 2, Рис. 3).



Рис. 2. Колонны храма Рамессеум Рамзеса II

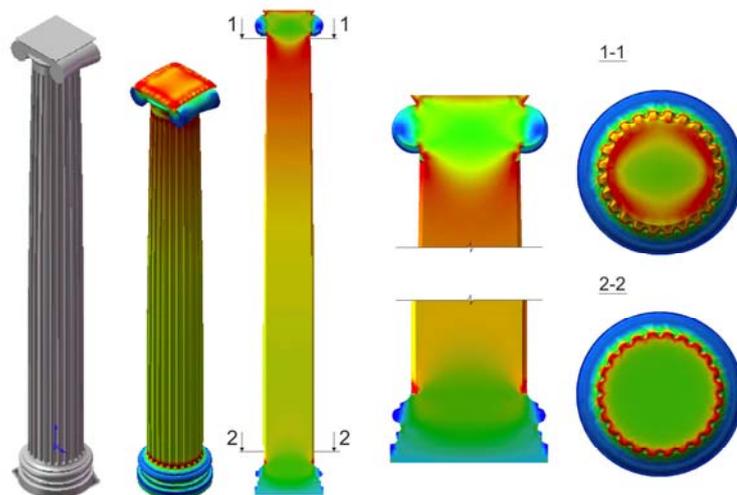


Рис. 3. Ионический ордер восточного портика Эрехтейона

Рассмотрим более подробно и формы ордера Парфенона. В настоящее время существует много замечательных виртуальных реконструкций этого памятника, показывающих, какого высочайшего уровня достигло мастерство геометрического компьютерного моделирования. В частности, заслуживает внимания работа архитектора Г. Беляева (Рис. 4) [1].



Рис. 4. Пример виртуальной геометрической реконструкции форм Парфенона

Попытаемся к геометрии «добавить» физику. Придадим геометрическим моделям определенные физические свойства (модуль упругости, коэффициент Пуассона, расчетные характеристики, плотность материала). Рассмотрим, как работают под нагрузкой несколько колонн и архитравных балок Парфенона - пример классической стоечно-балочной конструктивной системы (Рис. 5).

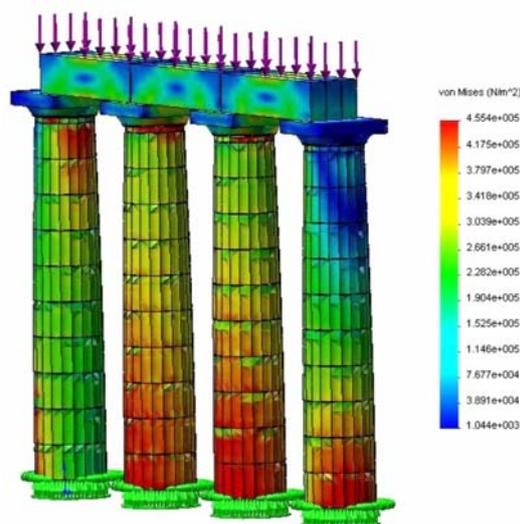


Рис. 5. Визуализация поверхностных напряжений элементов ордера Парфенона, находящихся под нагрузкой

Разумеется, здесь представлена простая расчетная схема без учета боковых нагрузок и сеймики. Тем не менее, даже такой упрощенный подход дает очень много для проведения обобщенной тектонической оценки формы колонн. Визуальный анализ напряжений в материале архитравных балок позволяет определить, что в них реально работают только некоторые зоны. Анализ цветовой индикации колонн позволяет определить соотношение между ее конструктивными и художественно-образными особенностями. В частности, видно, что шейки капителей колонн, отмеченные красным цветом, работают на пределе. Также, на пределе, работают и нижние участки колонн, что связано с увеличением нагрузки от их собственного веса. Кроме того, из полученной схемы деформаций видно, что боковые колонны работают иначе, чем рядовые. Из-за несимметричности прилагаемой к ним нагрузки от архитравов, они вынуждены работать как контрфорсы (Рис. 6).

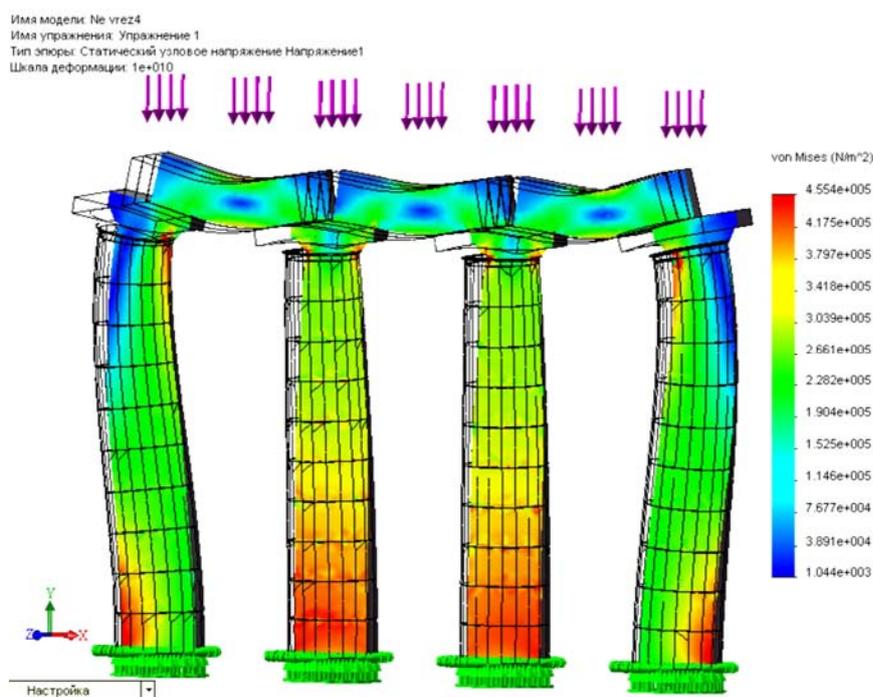


Рис. 6. Визуализация напряжений в системе архитравных балок и колонн Парфенона с показом деформаций в укрупненном масштабе

В таком положении, когда сверху действует несимметричная нагрузка, боковые колонны становятся близки к состоянию потери устойчивости. Приведенный пример с деформацией форм балок и колонн показывает очень важную и нужную особенность расчетных программ: они позволяют не только увидеть картину напряжений, но и получить представление о работе и поведении конструкции в тех или иных условиях загрузки. Таким образом, можно констатировать, что новый инструментарий дает основания для предельно адекватного, «зрячего» исследования архитектурных особенностей форм памятников архитектуры. Любопытно, что данный инструментарий может быть использован и для анализа современных архитектурных форм, среди которых встречается большое количество архитектурных нелепостей.

Выявление в колоннах участков, работающих как по максимуму (красные), так и по минимуму (синие), дает богатый, не рассматривавшийся ранее материал для отдельного теоретического исследования, посвященного проблеме поиска идеальной формы в архитектуре. По всей видимости, такая форма, обладающая определенной семантикой и некими физическими свойствами, должна иметь конструктивное решение, близкое к оптимальному [2]. Представляется, что многочисленные исследования, посвященные поиску идеальных пропорций в архитектуре, бесперспективны именно из-за игнорирования физических свойств архитектурной формы. Абсолютно прав в этом смысле В.Ф. Маркузон,

утверждавший, что «нет пропорций вообще.. основные характеристики архитектуры, т.е. утилитарная функция, пространство и пропорции выражаются через архитектуру» [3].

Первые попытки поиска оптимальных конструктивных решений были произведены английским исследователем-архитектором Робертом Гуком (1635-1703), который предложил выводить оптимальную форму купола из, так называемой, цепной линии. Нить, подвешенная за два конца, давала ему геометрическую линию для построения оптимального купола, форма которого, к тому же, воспринималась и воспринимается как эстетически значимая.

Попытаемся воспроизвести подобный эксперимент с помощью виртуального моделирования процесса сжатия простого объема кубика-этажерки. Если к верхней поверхности такого кубика приложить распределенную нагрузку, с условием защемления нижней его поверхности, то в результате сжатия получим некую деформацию всей формы кубика (Рис. 7).

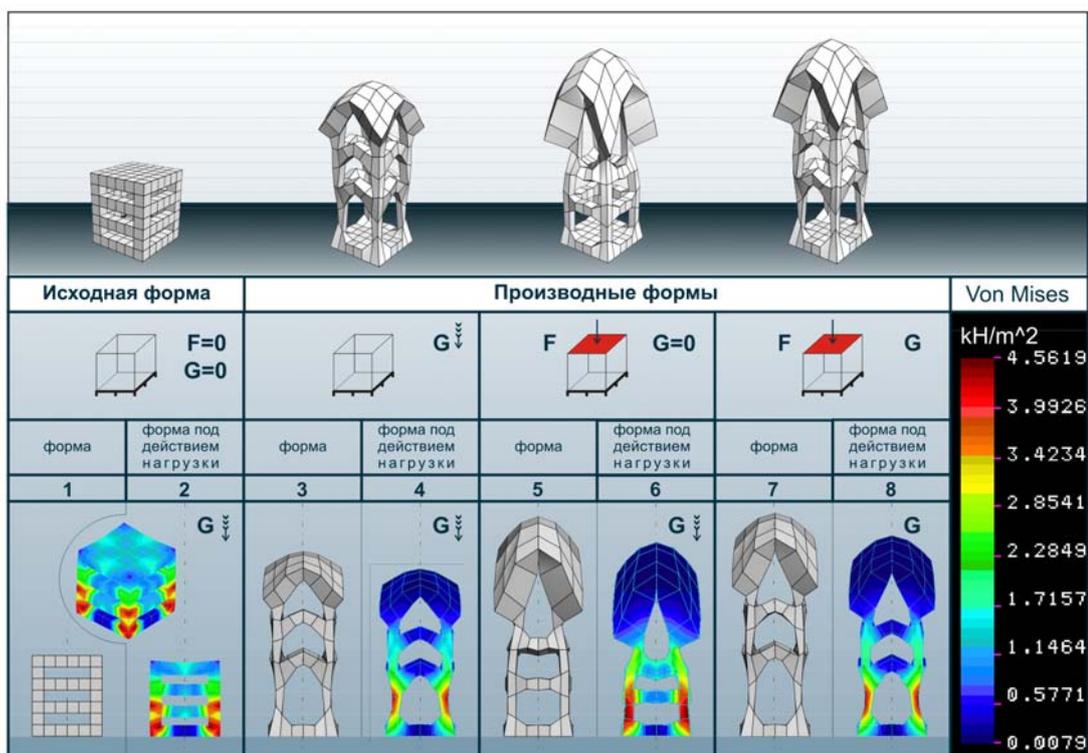


Рис. 7. Моделирование обратной деформации формы кубика-этажерки, нагруженной сверху равномерно распределенной нагрузкой

Моделируя обратную деформацию, из исходной формы кубика, путем укрупнения масштаба перемещений, получаем некую бионическую грибовидную форму. Очевидно, что по аналогии с цепной линией, полученная объемная форма будет оптимальной для сопротивления заданной нагрузке.

Следует особо отметить, что новые расчетные программные продукты позволяют использовать целый ряд алгоритмов поиска оптимальных форм. В частности, на основе метода конечных элементов, представляется возможным «отсекание» от формы тех участков, которые нагружены минимально. Например, используя простейшую форму сплошного кубика, при нагружении сверху и защемлении снизу, получаем некую форму на четырех арках-ножках. В данном случае вновь получается форма, напоминающая некий бионический объект. В том случае, если нагрузки и защемления будут приложены и сверху, и снизу кубика, то производная форма будет иметь следующий вид (Рис. 8).

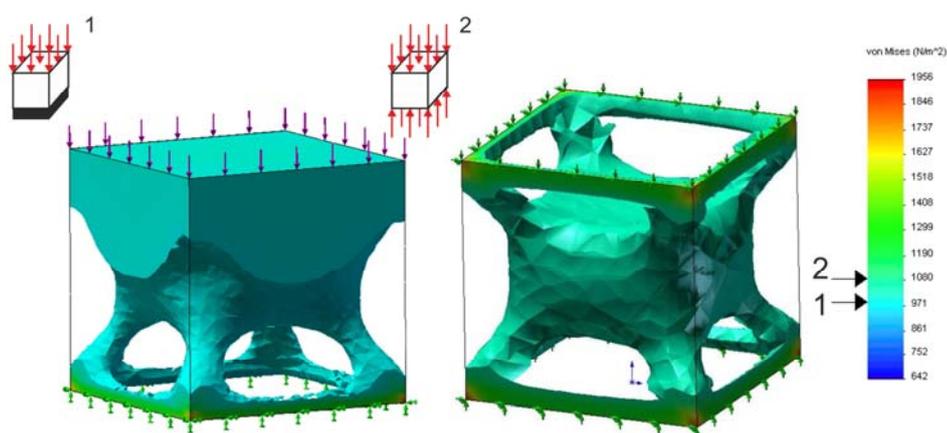


Рис. 8. Пространственная структура полей напряжений в сплошной кубической форме

Данная технология «отсекания» «лишних» участков материала, по нашему мнению, позволяет сформировать инструментарий оптимизационного конструирования и формообразования. Например, зададим некую сплошную среду с определенными свойствами материала в границах произвольной формы, и приложим к ней некие внешние механические воздействия. Сверху приложим распределенную нагрузку в пределах небольшой площадки (выделена зеленым цветом), а снизу приложим такую же площадку, которую будем считать заземленной (Рис. 9).

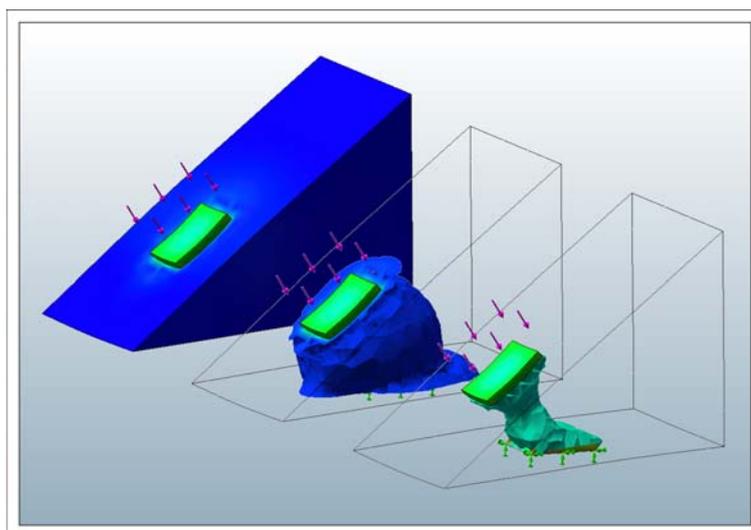


Рис. 9. Пространственная среда, ограниченная формой с приложенными механическими воздействиями к граням основной формы в определенных площадках

В итоге получается сплошная среда, ограниченная определенной формой, все участки которой механически взаимосвязаны с этой средой. И если произвести механическое воздействие в пределах двух площадок, то между этими площадками поля напряжений создадут определенную пространственную структуру. Продольный разрез такой модели дает возможность увидеть предельно наглядную картину действия скрытых сил (Рис. 10).

Если же смоделировать простейшую ситуацию по передаче вертикальной нагрузки от верхней площадки (загруженной) к нижней (заземленной), то получим форму, оптимальную для вертикальной опоры. Важно отметить, что форма такой опоры будет симметричной относительно горизонтальной средней линии. Если же в первоначальные условия заложить учет собственного веса (гравитацию), то форма опоры изменится и как бы «просядет» вниз (Рис. 11).

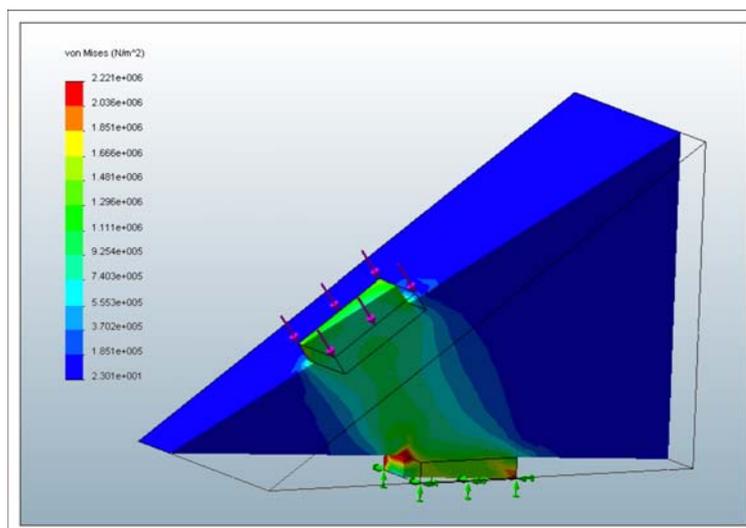


Рис 10. Разрез объекта со сплошной средой с механическим воздействием в двух площадках на его различных гранях

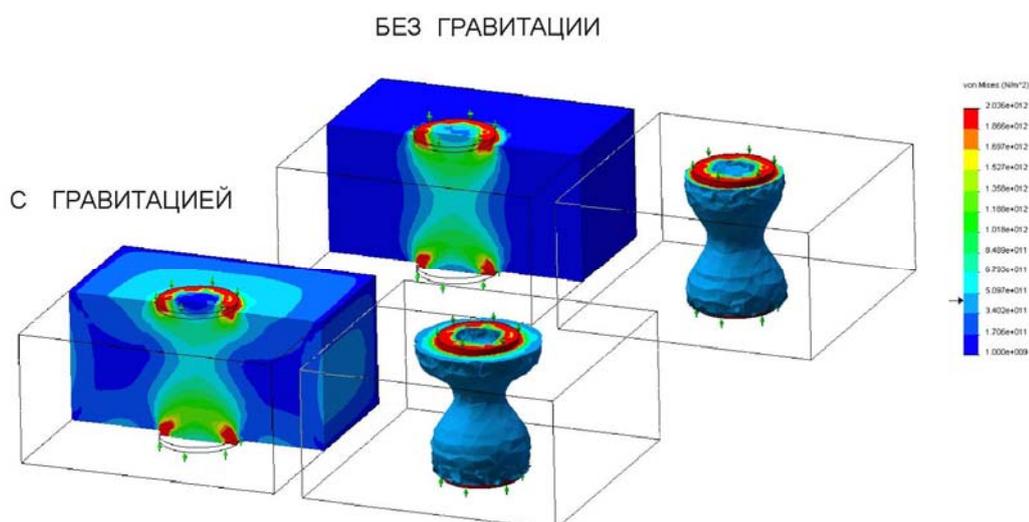


Рис. 11. Визуализация зависимости пространственной структуры напряжений от действия гравитационной силы

Таким образом, обобщая, можно констатировать, что материальную форму можно рассматривать как некую производную от ее внутренних физических свойств и от заданных внешних условий, к которым она как бы подстраивается или адаптируется. Моделирование такой формы, совпадающей с пространственной структурой напряжений, дает возможность ввести новый метод формообразования, который условно можно назвать адаптивно-тектоническим.

Полагаем, что наряду с рассмотренным выше элементом, условно названным «опора», по аналогии можно задавать условия для выявления условно оптимальной формы для таких элементов как «консоль», «контрфорс», «балка», «проем в стене», «оболочка» и т.д. Кроме того, для более адекватного художественного осмысления конструкции, перспективным представляется создание типологии тектонических узлов. Условно обозначим некоторые характерные типы таких узлов:

1. Узел приема нагрузки (капитель, примыкание контрфорса к стене и т.д.);

2. Узел переноса нагрузки на расстояние (ствол колонны, пилястра, столб, распор и т.д.);
3. Узел передачи нагрузки на основание (база, цоколь и т.д.);
4. Узел изменения направления силовых линий (угол контрфорсов);
5. Узел передачи нагрузки от одного количества нагруженных площадок к другому количеству заземленных площадок (ветвление в стержневых системах).

Очевидно, что здесь представлен далеко не полный перечень характерных ситуаций, отражающих работу скрытых сил в материале. Разработка данного направления исследования еще только начинается.

Проведение подобных виртуальных экспериментов с материалом и нагрузками дает возможность вывести процесс архитектурного формообразования и, соответственно, проектирования на качественно новую ступень. Архитектор получает инструмент, который позволяет видеть материал «насквозь» что, в свою очередь, может дать основу для существенного сближения художественно-интуитивного и инженерно-расчетного подходов к проектированию и формообразованию.

Любопытно, что в истории науки уже была похожая ситуация, когда новые научные знания выводили инженерное творчество на новый уровень. Так В.П. Зубов, описывая биографию Леонардо да Винчи, сожалеет, что он немного не дожил до научного прорыва, связанного с открытием дифференциального исчисления в математике: «Математический аппарат и математические формулировки у Леонардо да Винчи почти всегда просты — неизмеримо проще, чем те широкие и сложные задачи, которые он ставил, и которые не могли быть ... решены средствами старого математического аппарата. Это была отнюдь не только личная трагедия Леонардо...

Математика времен Леонардо принадлежала тому периоду, когда переменная величина еще не стала кардинальным понятием этой науки, а потому... не могла овладеть сложными проблемами движения, которые настойчиво ставило перед учеными развивающееся естествознание. Особенно наглядно указанное несоответствие проступает в гидродинамике. Первый труд по гидродинамике появился лишь в 1638 г. - труд ученика Галилея, Бенедетто Кастелли «О мере движущихся вод». «Гидродинамика» Даниила Бернулли появилась ровно сто лет спустя, в 1738 г., когда стало возможным применить в этой области новый математический аппарат, позволяющий овладеть проблемами движения» [4].

Новые расчетные программные продукты позволяют, по сути дела, создавать виртуальные лаборатории, в которых можно осуществлять виртуальное моделирование физических процессов с максимальным приближением к реальным условиям. Очень важно, что виртуальная экспериментальная «обкатка» запроектованных архитектором геометрических моделей в такой «лаборатории» позволит развить его тектоническое мышление даже на простейших моделях, подобных рассмотренным выше. Объективный же комплексный учет всех физических факторов возможен только при решении сложнейших задач на поиск глобального многокритериального экстремума, что зачастую не поддается формализации и решается иногда только на уровне интуиции. Тем не менее, наглядная картина скрытых в материале сил может стать той основой, от которой архитектор имел бы возможность отталкиваться при поиске художественного образа. Полагаем, что в конечном итоге это приведет к более профессиональному решению проектных задач, при котором конструктивно - оптимальные формы архитектурного объекта получат соответствующие художественно-образные решения.

## Литература

1. Беляев Г.В. Опыты архитектурного моделирования. [Сетевой ресурс]. - URL: <http://karandash6000.livejournal.com/9060.html>
2. Радзюкевич А.В., Пальчунов С.П. «Архитектоника для архитекторов» [Сетевой ресурс]. - URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2009/4kvart09/Radzjukevich/Article.php>
3. Маркузон В.Ф. О языке архитектуры. Стенограмма обсуждения доклада В.Ф. Маркузона на заседании методологического семинара под рук. А. Раппапорта и Б. Сазонова «Проблемы проектирования» 21.04.1971. Из личного архива А.Г. Раппапорта. [Сетевой ресурс]. - URL: <http://niitag.ru/info/doc/?358>
4. Зубов В.П. Леонардо да Винчи. 1452-1519. – М: Изд. АН СССР, 1961.

## References

1. Beljaev G. *Opyty arhitekturnogo modelirovaniya* [Architectural modeling experiments] Available at: <http://karandash6000.livejournal.com/9060.html>
2. Radzjukevich A., Pal'chynov S. *Arhitektonika dlja arhitektorov* [Architectonic for Architects]. Available at: <http://www.marhi.ru/AMIT/2009/4kvart09/Radzjukevich/Article.php>
3. Markuzon V. *O jazyke arhitektury* [About the language of architecture]. Available at: <http://niitag.ru/info/doc/?358>
4. Zubov V. *Leonardo da Vinchi. 1452-1519* [Leonardo da Vinchi. 1452-1519]. Moscow. 1961

## ДАнные ОБ АВТОРАХ

### А.В. Радзюкевич

Канд. арх, зав. кафедрой «Компьютерные технологии проектирования», Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия, Новосибирск, Россия  
e-mail: [radz@rambler.ru](mailto:radz@rambler.ru)

### Г. Козлов

Магистрант, Кафедра «Компьютерные технологии проектирования», Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия, Новосибирск, Россия  
e-mail: [archifutura@ya.ru](mailto:archifutura@ya.ru)

## DATA ABOUT THE AUTHORS

### A. Radzjukevich

PhD in Architecture, head of chair of Computer Technology Design, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia  
e-mail: [radz@rambler.ru](mailto:radz@rambler.ru)

### G. Kozlov

Post-graduate student, chair of Computer Technology Design, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia  
e-mail: [archifutura@ya.ru](mailto:archifutura@ya.ru)

# ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ФОРМ ПАМЯТНИКА АРХИТЕКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ ХРАМА АЛЕКСАНДРА НЕВСКОГО В НОВОСИБИРСКЕ (НОВНИКОЛАЕВСКЕ))

**А.В.Радзюкевич, М.А. Чернова**

*Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия, Новосибирск, Россия*

**В.А. Середович, А.В. Иванов**

*Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, Россия*

## Аннотация

Описывается новая технология объемного лазерного сканирования в решении прикладной задачи — производства обмеров памятников архитектуры. На примере храма Александра Невского в Новосибирске показано, как на основе полученного «облака точек» можно получить все необходимые обмерные чертежи. Высказывается предположение, что данная технология в ближайшие годы станет очень удобным и технологичным стандартом фиксации и документирования форм памятников архитектуры.

На основе полученных обмерных данных в статье также производится анализ размеров и пропорций храма Александра Невского. Установлено, что архитектор К. Лыгин при проектировании храма Александра Невского использовал простые модульные соотношения на основе аршина и сажени. Реконструкция логики формообразования плана показала, что в его основе лежит простая геометрическая схема, состоящая из пяти окружностей: одной центральной и примыкающих к ней с четырех сторон окружностей меньшего диаметра.

**Ключевые слова:** объемное лазерное сканирование, обмеры памятников архитектуры, реконструкция логики формообразования

## LASER SCANNING AND PROPORTIONAL ANALYSIS TECHNOLOGY OF ARCHITECTURAL MONUMENTS FORMS (FOR EXAMPLE ALEXANDER NEVSKY CHURCH IN NOVOSIBIRSK (NOVONIKOLAEVSK))

**A. Radzukevich, M. Chernova**

*Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia*

**V. Seredovich, A. Ivanov**

*Siberian state academy of geodesy, Novosibirsk, Russia*

## Abstract

The article describes a new three-dimensional laser scanning technology in solving applied problems - measuring of architectural monuments. On the example of Alexander Nevsky temple in Novosibirsk, it is shown an opportunity of getting all the necessary tonnage figures based on "point cloud". It is suggested that this technology is going to be very convenient and technologically advanced standard for capturing and documenting the forms of architectural monuments in coming years.

Based on tonnage data the article also analyzes the size and proportions of Alexander Nevsky church. It is established that the architect K. Lygin designing the Alexander Nevsky temple used simple modular ratio based on the feet and fathoms. Reconstruction of the forming plan logic showed that it was based on simple geometric scheme, consisting of five circles: one central and some circles of smaller diameter adjoining it from the four sides.

**Keywords:** 3D-dimension laser scanning, measurements of architectural monuments, reconstruction of design logic

Храм Александра Невского, построенный в Новониколаевске 1899 году по проекту К.К. Лыгина, стал первым каменным культовым зданием города. Особый интерес к этому памятнику вызывает то обстоятельство, что в архивах сохранились авторские проектные чертежи (Рис. 1).

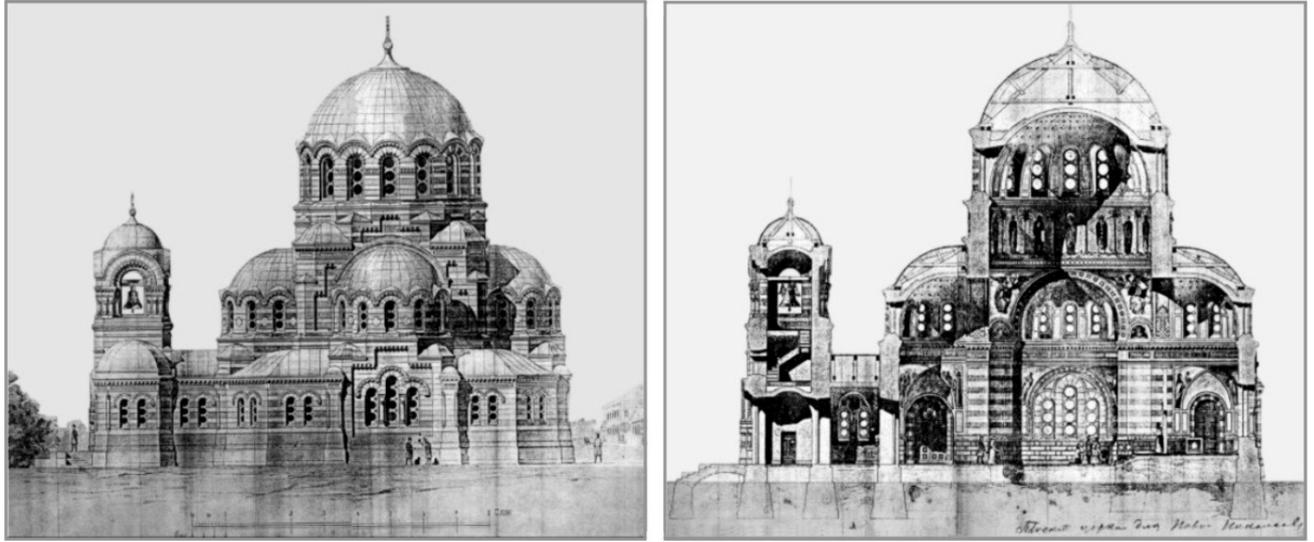


Рис. 1. Проектные чертежи храма Александра Невского, выполненные архитектором К. Лыгиным

На сегодняшний день храм имеет статус памятника истории и культуры регионального значения, который играет важную роль в формировании облика города Новосибирска, являясь одним из важнейших символов города.

Прототипом форм храма предположительно послужил одноименный храм Александра Невского, построенный в Тифлисе (Тбилиси) по проекту академика архитектуры Давида Ивановича Гримма [1]. Тифлисский прототип был разрушен большевиками в 1930 году. Поэтому о его формах можно судить только по сохранившимся фотографиям (Рис. 2).



Рис. 2. Храм Александра Невского в Тифлисе

Новониколаевский храм после Октябрьского переворота много лет пустовал. В 1980-е годы, в рамках проведения реставрационных работ, было проведено большое научно-историческое исследование памятника [2]. Однако в архитектуроведческом отношении формы храма остаются до сих пор еще недостаточно изученными. В частности, совершенно не изучены его пропорционально-метрологические особенности, которые, теоретически, могут дать ключ к пониманию логики формообразования. Для проведения пропорционально-метрологического исследования необходимо наличие детальных обмерных чертежей. В период реставрации здания храма в 80-х годах прошлого столетия были сделаны достаточно подробные обмерные чертежи, фиксирующие существующее положение форм памятника.

В настоящее время появилась возможность провести обмерную фиксацию форм на несоизмеримо более высоком технологическом уровне с помощью технологии объемного лазерного сканирования, которая позволяет зафиксировать размеры и формы исследуемого памятника архитектуры с максимально возможной полнотой. Если раньше уходило недели, а иногда и месяцы, на то, чтобы произвести обмеры всего объекта [3], то в настоящее время с использованием современных технологий работу можно выполнить в очень короткий срок. В частности, на полное сканирование форм храма Александра Невского ушло примерно 4 часа. В России данная технология активно применяется в Санкт-Петербурге (Научно-производственное предприятие «Фотограмметрия»). Для выполнения обмеров фасадов зданий используется разработанная ими технология, сочетающая методы лазерного сканирования и цветовой фотограмметрии [4]. Также существует превосходный зарубежный опыт, который можно изучить в отчете по сканированию форм римского Пантеона [5].

Сканирование форм новосибирского храма Александра Невского осуществлялось по договоренности с настоятелем храма в два этапа - днем было произведено наружное сканирование, а вечером, после окончания богослужений - внутреннее сканирование (Рис. 3).



Рис. 3. Внешнее и внутреннее сканирование форм храма

Для сканирования храма нами был использован наземный лазерный сканер RIEGL VZ400. На сегодня это одна из моделей линейки наземных лазерных сканеров нового поколения [6]. Данный прибор имеет ряд преимуществ по сравнению с подобными ему лазерными сканерами и отличается сравнительно небольшим весом и упрощенным интерфейсом.

Использование этого прибора позволяет качественно улучшить и ускорить процесс проведения полевых работ за счет высокой производительности - до 120 000 измерений в секунду и таких встроенных функций, как лазерные отвес, датчики угла наклона, компас, GPS и т.д.

Кроме того, в программном продукте для постобработки данных, поставляемом с данным прибором, реализована функция объединения сканерных станций в единую систему координат на основе перекрытий соседних сканов без использования специальных марок. Данная функция выполняет поиск характерных объектов местности на соседних сканах в автоматическом режиме, сопоставляет их, и на основе полученных связей вычисляет необходимые параметры трансформирования системы координат. Конечным результатом лазерного сканирования является объединённый в единую систему координат массив данных, по-другому называемый «облако точек», в виде координат XYZ, описывающих поверхность сканируемого объекта [7] (Рис. 4).

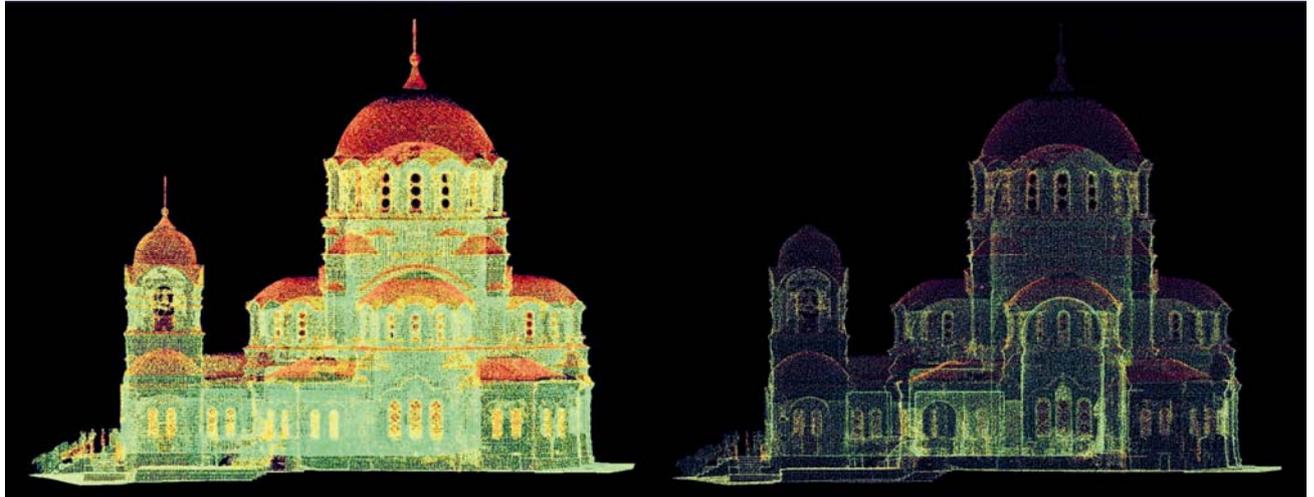


Рис. 4. Ортогональный внешний вид храма, представленный «облаком» точек» разной степени плотности

Большинство современных лазерных сканеров имеет встроенную фото или видео камеру, позволяющую получить реальный или псевдоцвет объекта и присвоить его каждой вычисленной координате. Благодаря данной особенности, полученное «облако точек» имеет не только высокую геометрическую детальность, но и также высокую наглядность (Рис. 5).

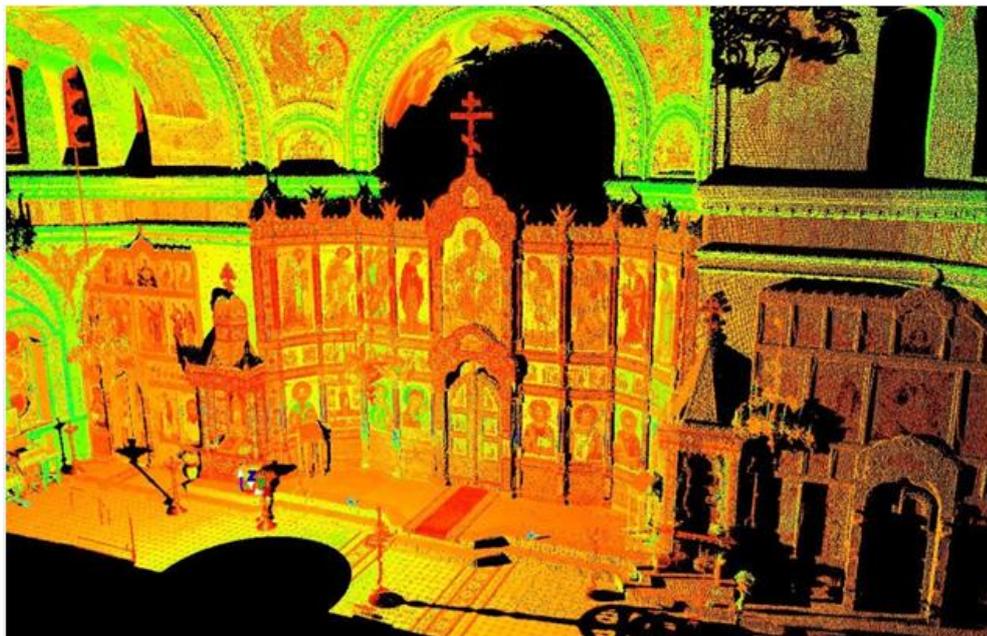


Рис. 5. Фрагмент «облака точек», раскрашенного в псевдоцвета (интерьер храма)

При непосредственном сканировании экстерьерной и интерьерной части собора, выполнено 55 сканерных станций в течение 4 часов с угловым разрешением сканирования  $0.040^\circ$  в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Съемка выполнялась с внешней стороны собора с учетом перекрытия соседних станций не менее 30%, внутреннее сканирование выполнялось со связью перекрытия с внешней стороной через основные ворота собора, с дополнительным использованием набора специальных геометрических марок в виде сферы диаметром 10 см, которые при постобработке точно распознаются на данных лазерного сканера. Всего при сканировании внутренней части собора использовалось 10 марок-сфер, расставленных до начала съемки и статичных до завершения работ. В дальнейшем использование общих марок позволило улучшить связь сканов внешней и внутренней стороны собора, пониженную за счет ограниченной видимости в дверном проёме.

Окончательная среднеквадратическая погрешность при постобработке и объединении всех сканов в единую систему координат составила 7 мм. Далее объединенное и отфильтрованное от различных некорректных измерений «облако точек» передавалось в специализированное программное обеспечение Leica Cyclone, которое позволяет отобразить большое количество полученных данных лазерного сканирования в трехмерном виде и выполнить на их основе практически любые инженерные задачи, связанные с получением метрической геометрической информации об объекте.

Новая технология позволила сделать «доступными» для измерения буквально все, «видимые» лучом лазера, точки объекта. Было получено «облако точек» (объем файла составил примерно 8 гигабайт). Это облако точек, условно говоря, было «нарезано» на отдельные слои, как по вертикали – по осям X и Y, так и по горизонтали – по оси Z. Результаты такой «нарезки» представляют собой наглядную картину, отражающую все особенности формы объекта (Рис. 6).

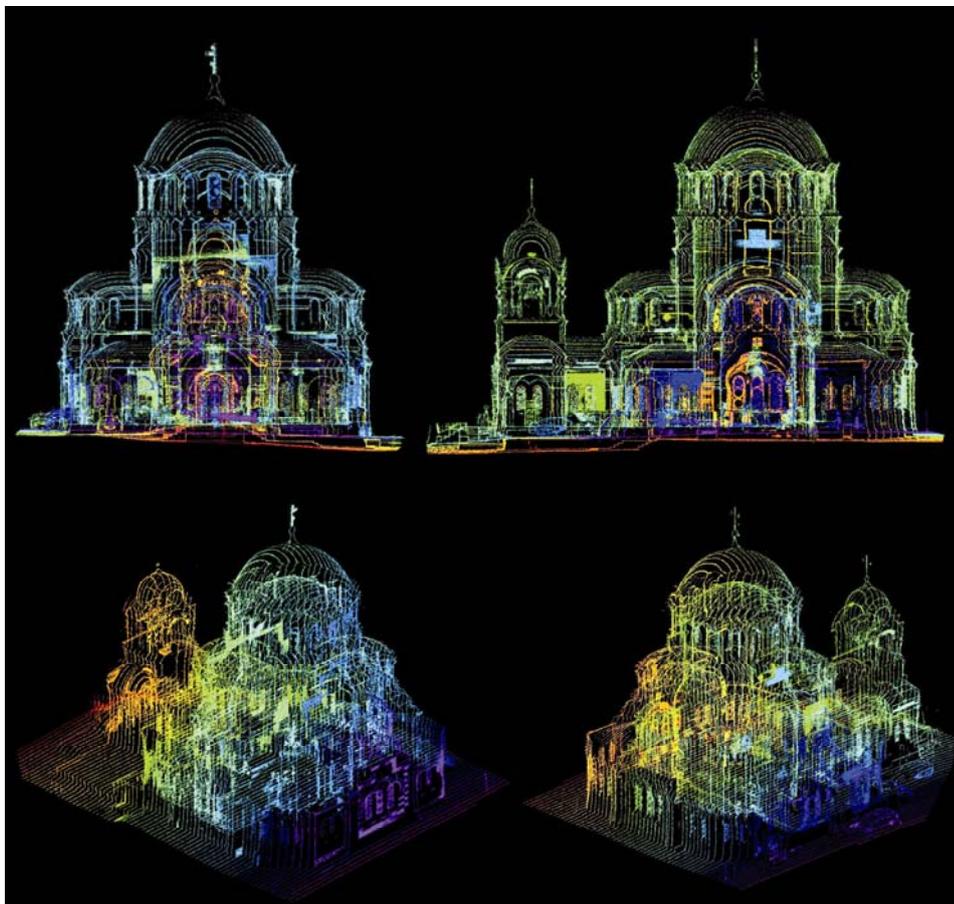


Рис. 6. Слои точек, «нарезанные» через 0,5 м по осям X и Y

Наибольший интерес, с точки зрения фиксации форм памятника, представляют, конечно же, слои горизонтальной «нарезки», позволяющие получать планы сооружения на любой отметке (Рис. 7).

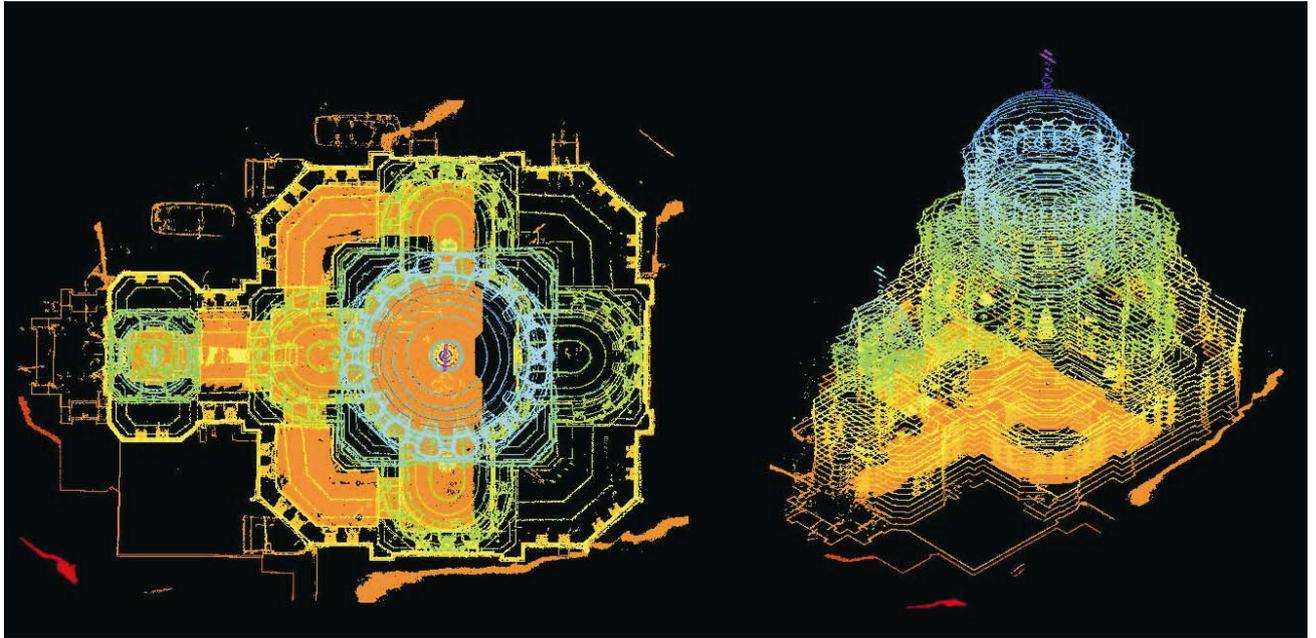


Рис. 7. Слои точек, «нарезанные» через 0,5 м по оси Z

Слои по оси Z, в которых наиболее четко просматривается форма объекта, были переведены из «облаков точек» в векторную форму в виде чертежей, выполненных ручной обводкой векторной графикой в программе AutoCAD (Рис. 8).

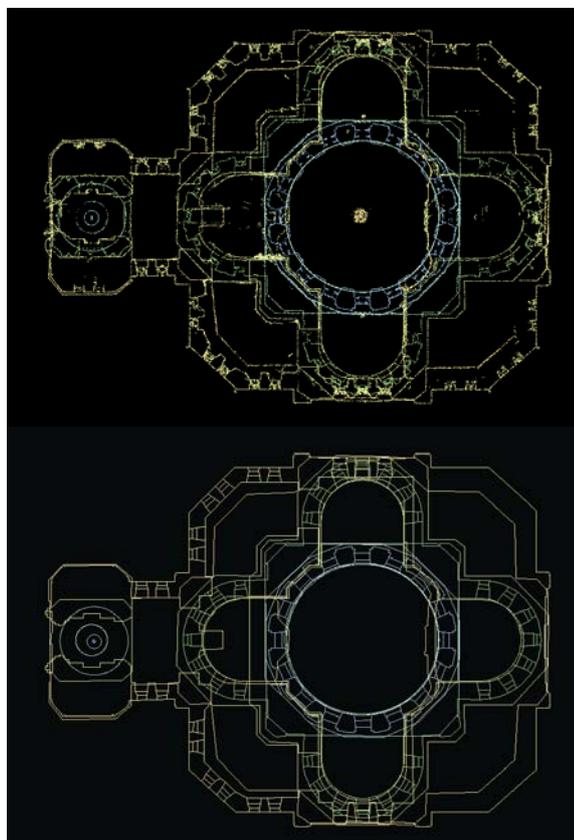


Рис. 8. Планы, полученные из слоев «облака точек» (сверху) в векторный формат (снизу)

Наличие практически неограниченного количества горизонтальных срезов (планов) памятника позволяет документально зафиксировать его форму с предельной полнотой, совершенно недостижимой традиционными обмерными технологиями. Имея набор наиболее характерных планов памятника, можно с предельной достоверностью проследить, как меняется форма по высоте - как четверик переходит в восьмерик, восьмерик в шестнадцатерик и т.д. (Рис. 9)

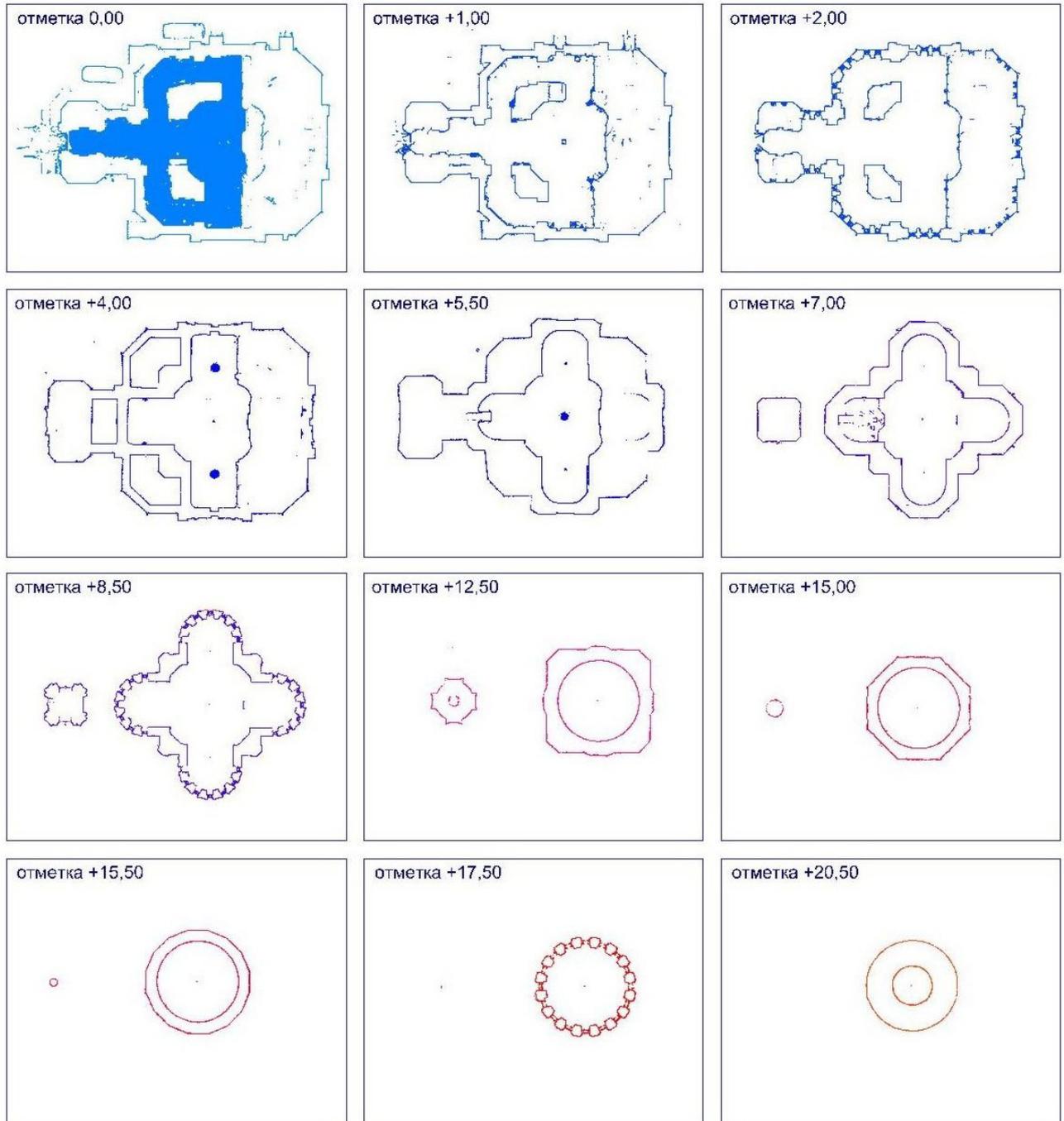


Рис. 9. Фиксация наиболее характерных планов храма Александра Невского

Полученные таким образом чертежи отличаются высокой степенью детализировки и точностью измерения. Алгоритм автоматизированного перевода «облака точек» в двухмерные чертежи и 3D - модели в настоящее время разрабатываются на кафедре «Компьютерных технологий» НГАХА.

Автоматизация процессов измерения и выполнения чертежей дает возможность производить гораздо более качественную и подробную фиксацию форм архитектурных объектов. Очевидно, что через некоторое время технология такой фиксации станет стандартной для документирования во многих направлениях реставрационно-проектной деятельности. Материал, зафиксированный с помощью новой технологии, дает возможность проведения полноценного архитектуроведческого исследования памятника.

Также была осуществлена попытка провести научный анализ полученных размеров и пропорций, с целью выявления логики формообразования. Методика исследования [8] в идеале предполагает наличие следующих материалов:

1. Авторские чертежи с обозначением размеров;
2. Обмерные чертежи;
3. Точное знание используемых при проектировании стандартов мер длины.

В нашем случае присутствуют все необходимые для исследования материалы. Есть проектные чертежи К. Лыгина, на которых присутствует масштабная линейка в сажнях (Рис. 10).

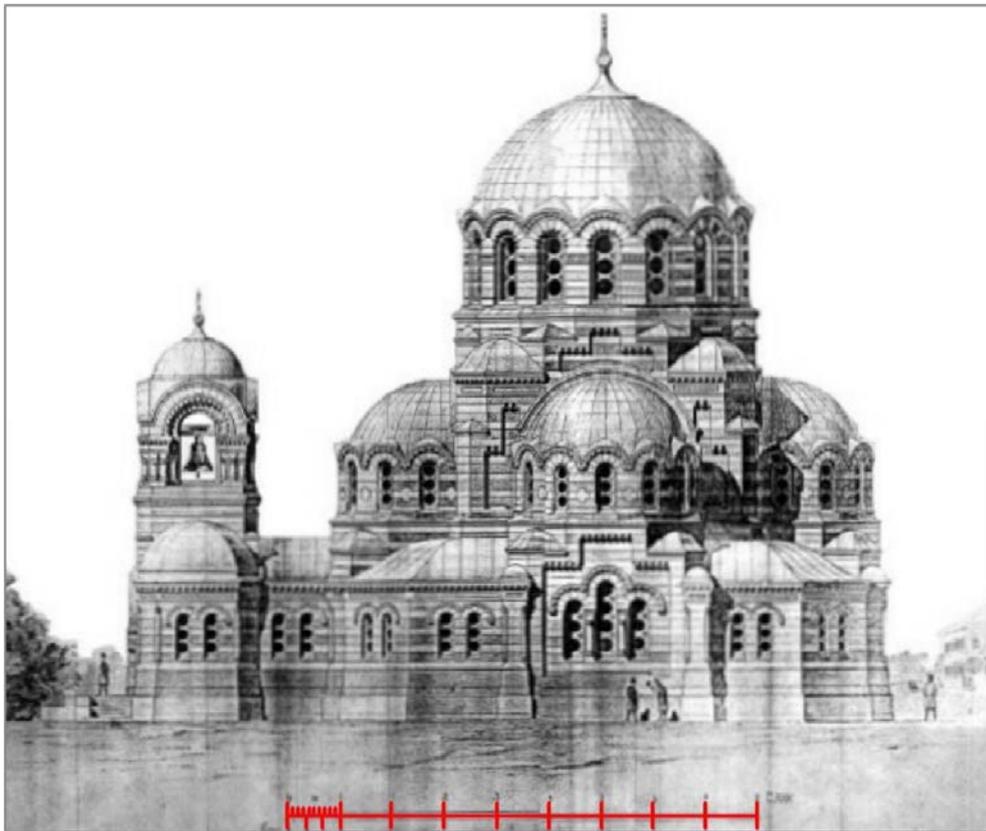


Рис. 10. Проектные чертежи архитектора К. Лыгина с выделением масштабной линейки (внизу)

Наличие высококачественных обмеров дает возможность сопоставить существующую форму памятника с проектной. Важно отметить, что точность и детальность лазерных обмеров такова, что можно увидеть даже изменение геометрии стен барабана храма. Очевидно, что эта деформация явилась следствием распора от тяжести купола. Измерения показывают, что верхний диаметр барабана примерно на 10 сантиметров больше нижнего (Рис. 11).

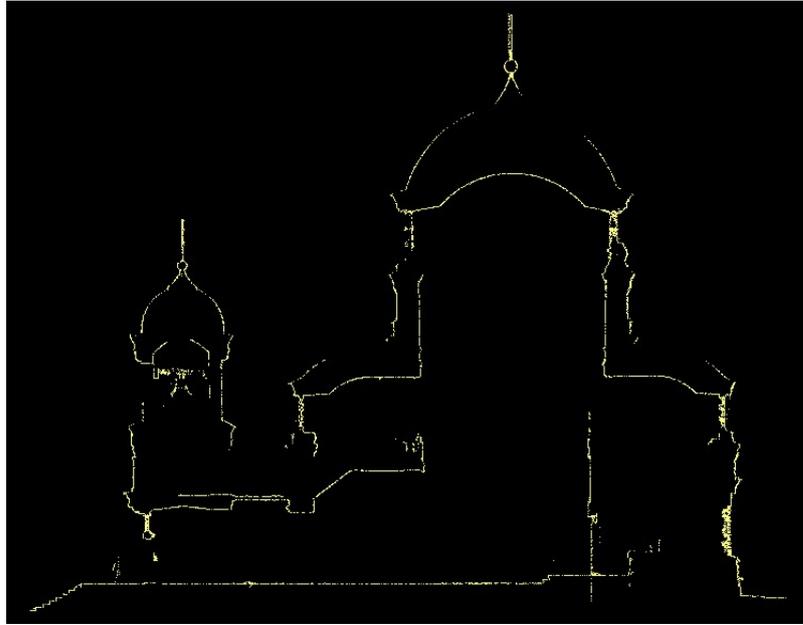


Рис. 11. Продольный разрез храма А. Невского, полученный путем «среза» из «облака точек»

Зафиксировать такую деформацию с помощью обычных «ручных» обмеров, осуществляемых с помощью архаичных рулеток и стремянок, практически невозможно.

Сопоставление обмеров и проектных чертежей может дать важную информацию для исследования объекта. Наложение чертежей друг на друга дало возможность выявить целый ряд особенностей, отличающих проектный замысел от существующего положения (Рис. 12).



Рис. 12. Сопоставление проектного чертежа с обмерами

Во-первых видно, что в проекте К. Лыгина отсутствует уровень хор. По всей видимости, хоры были сконструированы в результате реконструкции храма в 1980-е годы. Во-вторых видно, что уровень шелыги подпружных арок имеет значительное расхождение с проектом. По нашим замерам, их проектная высота от уровня пола составляет 16 аршин, а в реальном объекте она равна 15 аршинам. Можно предположить, что проектный замысел был скорректирован еще во время выполнения строительных работ. В-третьих, сопоставление чертежей показывает большое различие в очертаниях колокольни. В связи с тем, что колокольня храма была разрушена большевиками, ее пришлось реставрировать заново. Выявленные различия говорят о том, что реставрация была произведена произвольно.

Дальнейшее исследование основывается на переводе размеров из современной метрической системы мер в старорусские меры — сажени (2,13м), аршины (0,71м), вершки (0,044м). Используя эти меры, можно попытаться реконструировать некоторые особенности исходного проектного замысла. Проанализируем основные размеры фасада (Рис. 13) и разреза (Рис. 14), спроектированных архитектором К. Лыгиным.

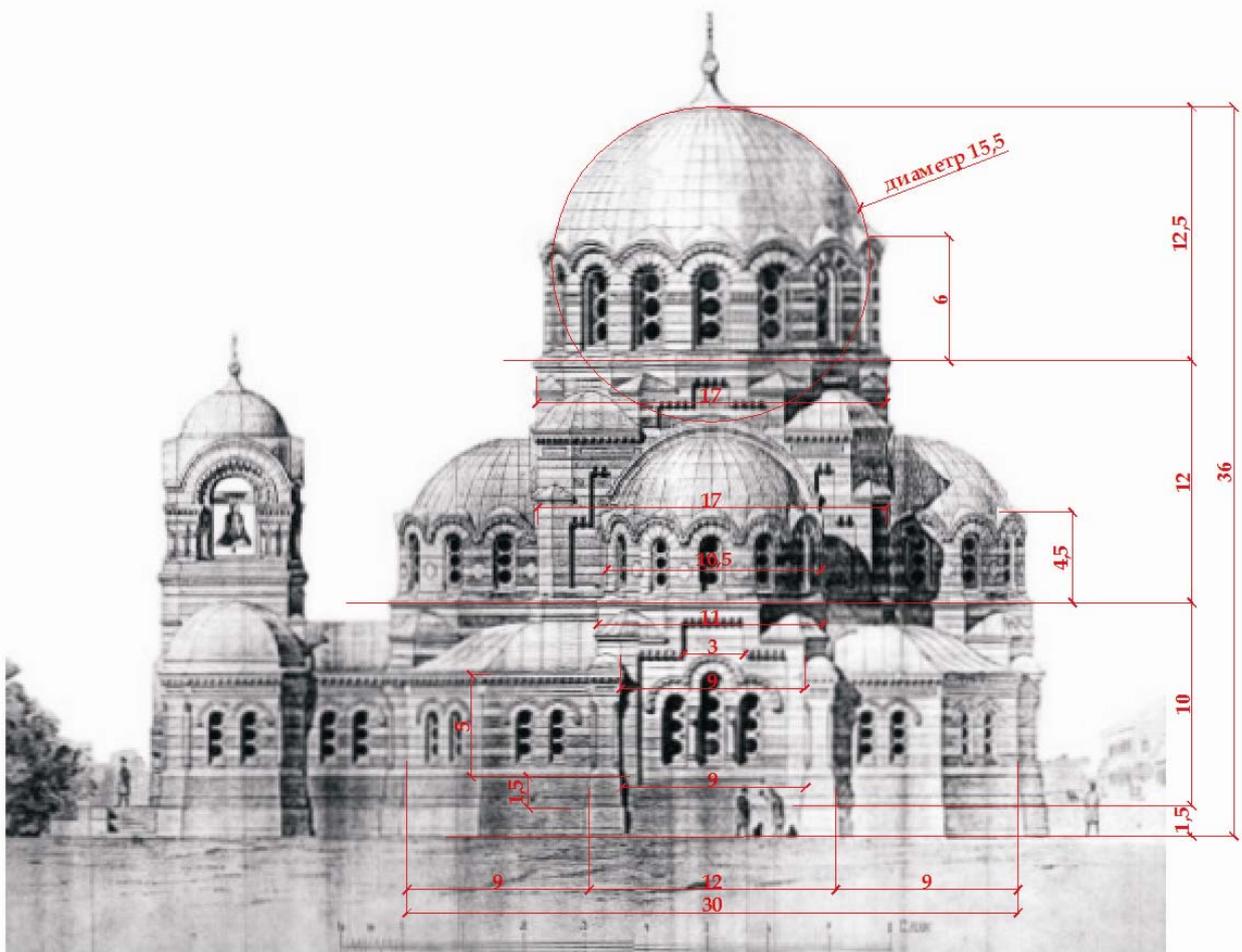


Рис. 13. Метрологический анализ фасада храма А. Невского (размеры приведены в аршинах)

Проведенный нами метрологический анализ дал возможность выявить некоторые метрические особенности форм собора. Так, например, можно зафиксировать метрическую закономерность в построении фасадной части здания. Она имеет трехчастное деление: центральная часть составляет 12 аршин, а две боковые — по 9 аршин. Следовательно, полная ширина фасада получается равной 30 аршинам или 10 сажням. По вертикальным размерам можно отметить, что внутренняя высота храма равна 30 аршинам или 10 сажням. На середине этого размера расположены шелыги подпружных арок (по лазерному обмеру - 10,60 м).



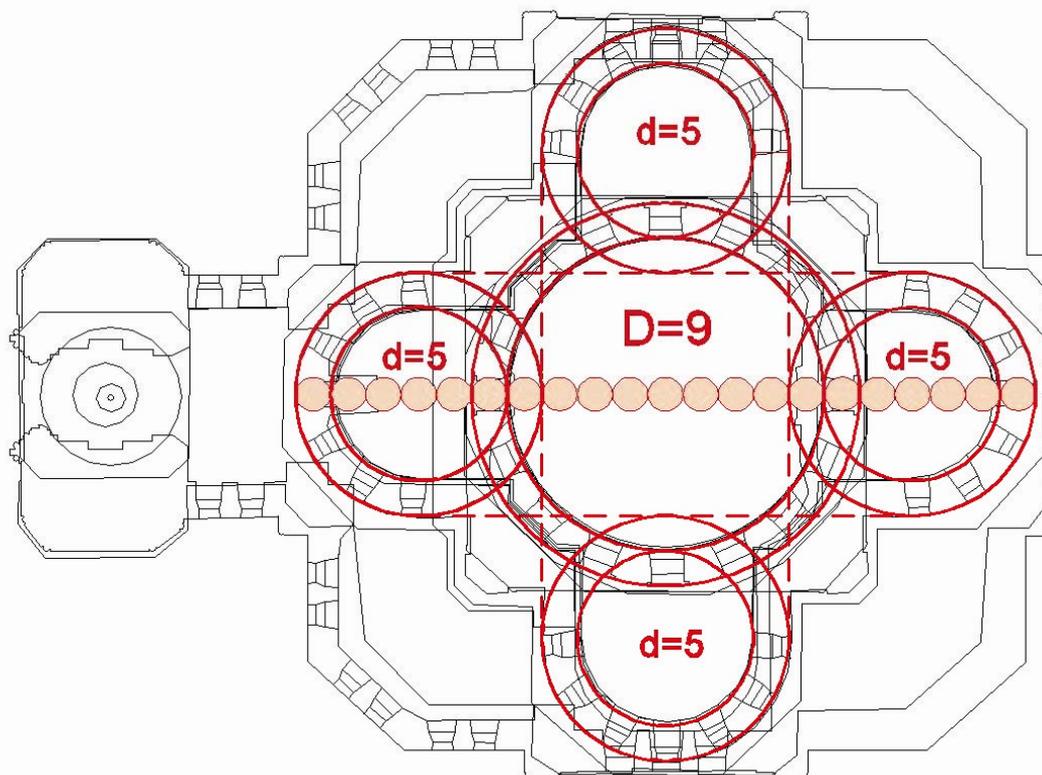


Рис. 15. Реконструкция логики построения плана храма А. Невского

Более полная реконструкция проектной логики Собора, безусловно, требует дальнейшего исследования. Кроме того, для полноты картины необходимо проведение подобных исследований по как можно большему количеству подобных объектов. Тем не менее, проведенное исследование дает возможность утверждать, что архитектор К. Лыгин использовал при проектировании храма Александра Невского простые модульные соотношения на основе аршина и сажени. В основе логики формообразования плана лежит простая геометрическая схема, состоящая из пяти окружностей: одной центральной и примыкающих к ней с четырех сторон окружностей меньшего диаметра.

### Литература

1. Радзюкевич А.В. К вопросу об авторстве и прототипах собора Св. Александра Невского в Новониколаевске (Новосибирске) [Сетевой ресурс]. – URL: <http://www.a3d.ru/architecture/stat/190>
2. Собор Александра Невского в Новосибирске. Проект реставрации фасадов. Историческая справка. Архив НПЦ по сохранению историко-культурного наследия.
3. Соколова Т.Н., Рудская Л.А., Соколов А.Л. Архитектурные обмеры. - М., 2007.
4. Научно-производственное предприятие «Фотограмметрия». Официальный сайт [Сетевой ресурс]. – URL: <http://www.photogrammetria.ru>

5. The Bern Digital Pantheon Project [Сетевой ресурс]. – URL: <http://www.digitalpantheon.ch/repository>
6. RIEGL — laser measurement systems. [Сетевой ресурс]. – URL: <http://riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/>
7. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009.
8. Радзюкевич А.В. Методические основы проведения пропорционально-метрологического анализа форм памятников архитектуры: дисс. на соик. уч. ст. канд. арх. – Новосибирск, 2004.

## References

1. Radzjukevich A. *K voprosu ob avtorstve i prototipah sobora Sv. Aleksandra Nevskogo v Novonikolaevske (Novosibirsk)* [To the question of authorship and prototypes of the Cathedral of St. Alexander Nevsky Novonikolayevsk (Novosibirsk)]. Available at: <http://www.a3d.ru/architecture/stat/190>
2. *Sobor Aleksandra Nevskogo v Novosibirsk. Proekt restavracii fasadov. Istoricheskaja spravka. Arhiv NPC po sohraneniju istoriko-kul'turnogo nasldija*. [Alexander Nevsky Cathedral in Novosibirsk. The project the restoration of the facades. Historical Background. NPC archive to preserve historical and cultural heritage].
3. Sokolova T., Rudskaja L., Sokolova A. *Arhitekturnye obmery* [Architectural measurements]. Moscow, 2007.
4. *Naychno-proizvodstvennoe predpriyatje "Fotogrammetrija". Oficial'nyj sajt* [Scientific-Production Enterprise "Photogrammetry"]. Official Site. Available at: <http://www.photogrammetria.ru>
5. The Bern Digital Pantheon Project. Available at: <http://www.digitalpantheon.ch/repository>
6. RIEGL — laser measurement systems. Available at: <http://riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/>
7. Seredovich V., Komissarov A., Komissarov D., Shirokova T. *Nazemnoe lazernoe skanirovanie* [Terrestrial laser scanning]. Novosibirsk, 2009.
8. Radzjukevich A. *Metodicheskie osnovy provedenija proporcional'no-metrologicheskogo analiza form pamjatnikov architecture. Diss. na soisk. uch.st. kand. arh.* [Methodical principles of proportional - metrological analysis of the forms of architectural monuments (Dis. Cand. Architecture)]. Novosibirsk, 2004.

## ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

### А.В. Радзюкевич

Канд. арх, зав. кафедрой «Компьютерные технологии проектирования», Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия, Новосибирск, Россия, e-mail: [radz@rambler.ru](mailto:radz@rambler.ru)

### М.А. Чернова

Магистрант, Кафедра «Компьютерные технологии проектирования», Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия, Новосибирск, Россия, e-mail: [marina\\_nqaxa@mail.ru](mailto:marina_nqaxa@mail.ru)

**В.А. Середович**

Проректор по инновационной деятельности, профессор, Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, Россия  
e-mail: [v.seredovich@list.ru](mailto:v.seredovich@list.ru)

**А.В. Иванов**

Ведущий инженер, Региональный центр лазерного сканирования, Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, Россия  
e-mail: [geoid@ngs.ru](mailto:geoid@ngs.ru)

**DATA ABOUT THE AUTHORS****A. Radzukevich**

PhD in Architecture, head of chair of Computer Technology Design, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia  
e-mail: [radz@rambler.ru](mailto:radz@rambler.ru)

**M. Chernova**

Post-graduate student, chair of Computer Technology Design, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia  
e-mail: [marina\\_ngaxa@mail.ru](mailto:marina_ngaxa@mail.ru)

**V. Seredovich**

Ph.D., Prof., Vice Rector for Innovative Activity, Siberian state academy of geodesy, Novosibirsk, Russia  
e-mail: [v.seredovich@list.ru](mailto:v.seredovich@list.ru)

**A. Ivanov**

Senior engineer, Regional Center for laser scanning, Siberian state academy of geodesy, Novosibirsk, Russia  
e-mail: [geoid@ngs.ru](mailto:geoid@ngs.ru)

# ОПЫТ УЧЕБНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БИОНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСЧЕТНО – КОНСТРУКТОРСКОЙ ПРОГРАММЫ «SCAD Offis»

**К.И. Ковалева, А.В. Радзюкевич**

*Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия,  
Новосибирск, Россия*

## **Аннотация**

В настоящее время в архитектурном образовании становится актуальной проблема преодоления разрыва между композиционно-художественной и инженерно-технической сферами проектирования. При выполнении учебных проектов студенты в первую очередь ориентируются на нормативные, функциональные и композиционно-художественные факторы. Конструктивный фактор также считается очень важным, однако из-за высокой сложности конструктивных расчетов студенты вынуждены использовать только простейшие, типовые конструктивные решения.

Для решения данной проблемы предлагается использовать в учебном процессе программные продукты, ориентированные на расчет строительных конструкций. В рамках данной статьи представлен пример расчета сложной архитектурной формы с помощью программного комплекса SCAD Offis.

Выдвигается предположение, что такой подход обеспечит реальную основу для налаживания взаимосвязи между композиционно-художественной и технической сферами проектирования. Программа SCAD Offis может стать мощным инструментом, позволяющим рассчитывать сложные и нестандартные конструкции в режиме комплексного проектирования более быстрым и точным способом, в наглядной и интуитивно понятной для студентов-архитекторов форме.

**Ключевые слова:** архитектурное образование, конструкции, бионика, оптимальное конструирование, архитектоника

## **THE EXAMPLE OF TRAINING PROJECT OF BIONIC OBJECT USING CONSTRUCTION PROGRAM «SCAD Offis»**

**K. Kovaleva, A. Radzjukevich**

*Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia*

## **Abstract**

Currently, a problem of bridging the gap between the artistic and engineering design areas in architectural education has become an urgent one. When carrying out training projects, students are primarily oriented to the regulatory, functional, compositional and artistic factors. The structural factor is also considered to be very important, but because of the high complexity of design calculations, students are forced to use only simple, generic, constructive solutions.

In order to solve this problem the authors propose to use some software in training process that focuses on the calculation of building structures.

In the context of this article the authors would like to offer the example of calculating some complex (compound) architectural form with the help of software package SCAD Offis.

There is a supposition that this approach will help in establishing the relationship between the compositional, artistic and technical spheres of design. Program SCAD Offis can be a powerful tool in calculating the compound and non-standard designs in the mode of complex designing. It happens faster and in a more accurate and visual for architecture students way.

**Keywords:** architectural education, design, bionics, optimization design, architectonic

В последние десятилетия в архитектуре появилось большое количество новых необычных форм, напоминающих формы живой природы. К ним можно отнести покрытия зданий, сходные с причудливыми поверхностями раковин моллюсков. Купола, интерпретирующие контуры скорлупы птичьего гнезда, прозрачные решетки структуры, уходящие в сложные переплетения ветвей лесной чащи или скелетных остовов радиоларий. В этих заимствованиях форм из живой природы сказалось не только желание найти новые средства выразительности, но и решить ряд насущных вопросов архитектуры, относящихся к областям экономики, техники, функции. Не случайно, поэтому, обращение архитекторов, инженеров, технологов к живой природе превратилось в широкое концептуальное движение в современной архитектуре [1,2]. В разных странах оно получило различные названия.

В Советском Союзе в начале 1960-х годов ему было дано название «архитектурная бионика» по аналогии с существовавшей тогда технической бионикой. В этот период изучением бионики активно и плодотворно занимался Ю.С. Лебедев [3]. По его определению бионика представляет собой науку, соединяющую научно-исследовательскую часть с одновременным исполнением практического замысла, не только выводящую законы, но и одновременно выражающую их в конкретной материальной форме.

Это наука, которая является в полном смысле созидательной. Она направлена на создание готовых вещей - физических моделей природных прототипов, способствующих активному преобразованию природы и созданию новой, искусственной среды по подобию живой природы, но лишь в аспекте решения архитектурных задач. Одним из многих вопросов, которые позволяет решать бионика, является вопрос рационализации конструкций и внедрение новых оригинальных, эстетически значимых конструктивных решений.

Опыт зарубежных стран показывает, что бионические решения можно использовать не только как декорации, но и как практически полноценно функционирующую архитектурную систему. Однако сегодня в России эта тенденция почти полностью отсутствует, так как с прекращением в 1990 году работы лаборатории Ю.С. Лебедева все исследования в сфере архитектурной бионики были прекращены. Это повлияло на сферу архитектурного образования в России и привело к тому, что актуальной стала проблема разрыва между композиционно-художественной и технической сферами проектирования [4].

При проектировании объектов студенты в первую очередь ориентируются на нормативные, функциональные и композиционно-художественные факторы. Конструктивный фактор также считается очень важным, однако из-за высокой сложности конструктивных расчетов, студенты вынуждены использовать только простейшие типовые конструктивные решения.

Проектирование объектов, имеющих интересные, но сложные архитектурные и бионические конструктивные структуры студентам недоступно, что способствует резкому ограничению их возможностей формообразования, ограничивая их только сферой декорирования и бутафории. Это противоречие усугубляется на фоне бурного развития бионической архитектуры в индустриально развитых странах. Однако сегодня для преодоления этого разрыва между композиционно - художественной и технической сферами в архитектурном проектировании созрела качественно новая ситуация.

Появились новые программные продукты, позволяющие работать в режиме комплексного проектирования более быстрым и точным способом, в наглядной и интуитивно понятной форме, что немаловажно для студентов-архитекторов. В настоящее время в архитектурно-строительном проектировании используется уже достаточно большое количество программ: «Лира», «Мономах», COSMOS, ANSYS, NASTRAN и др. Проведенный нами сравнительный анализ программных продуктов показал, что для учебного проектирования наиболее предпочтительно выглядит продукт SCAD Offis (Structure CAD Office) который, если определять точно, является интегрированной системой прочностного анализа и проектирования конструкций.

Особо следует отметить, что некоторые новые программные продукты в ряде случаев позволяют архитектору самостоятельно решать конструкторские задачи, не прибегая к

помощи специалиста — конструктора. В связи с этим нами была произведена попытка использования такого подхода в рамках дипломного проектирования. Был разработан архитектурно – дизайнерский проект «Общественно – деловой комплекс» в бионическом стиле (Рис. 1).

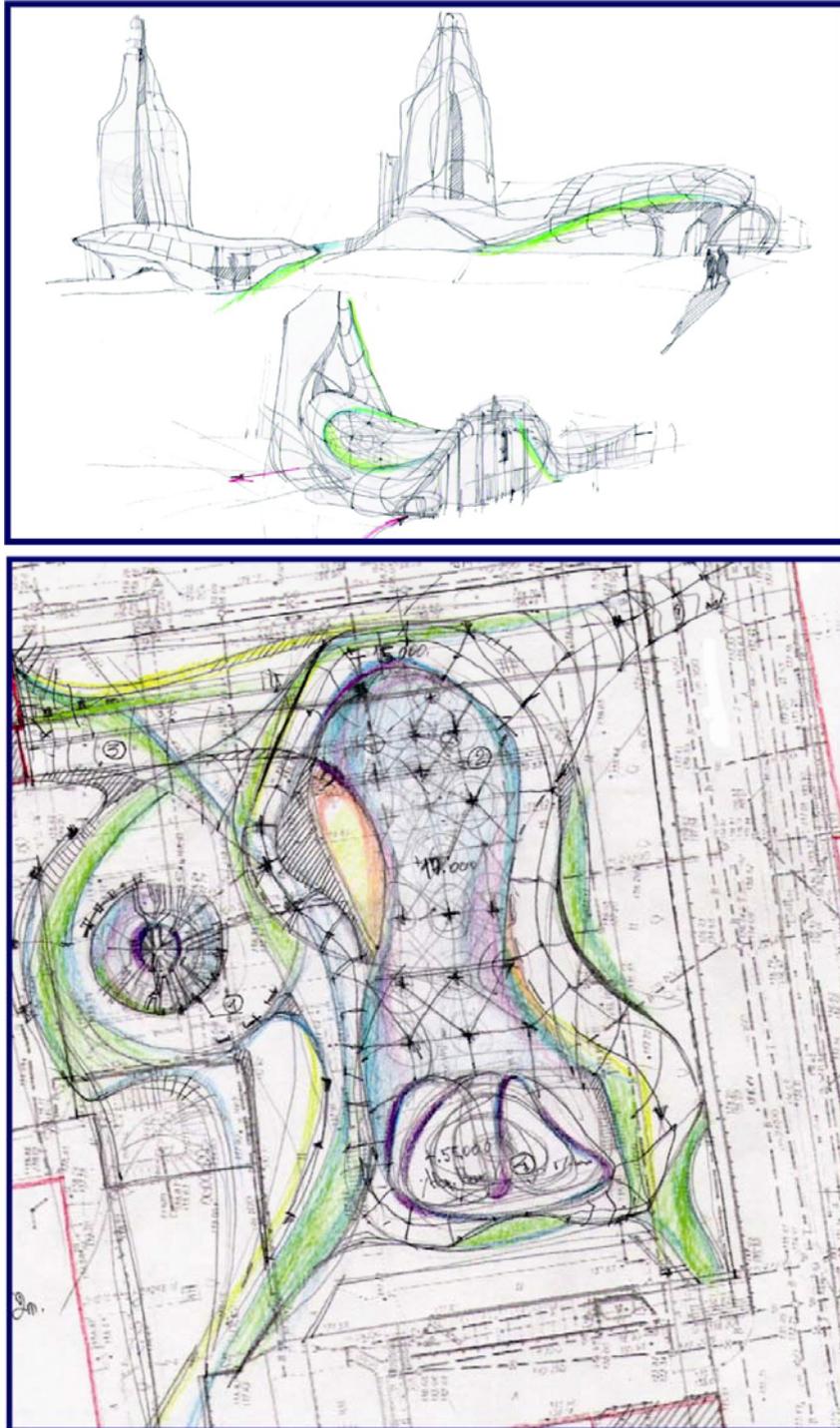


Рис. 1. Дипломный проект «Общественно-делового центра» в Новосибирске (эскизы)

В этой работе мы попытались объединить в единое целое «композиционно – художественный» и «инженерно-технический» подходы к проектированию. В качестве расчетного элемента была выбрана колонна, выполненная в бионическом стиле (Рис. 2).

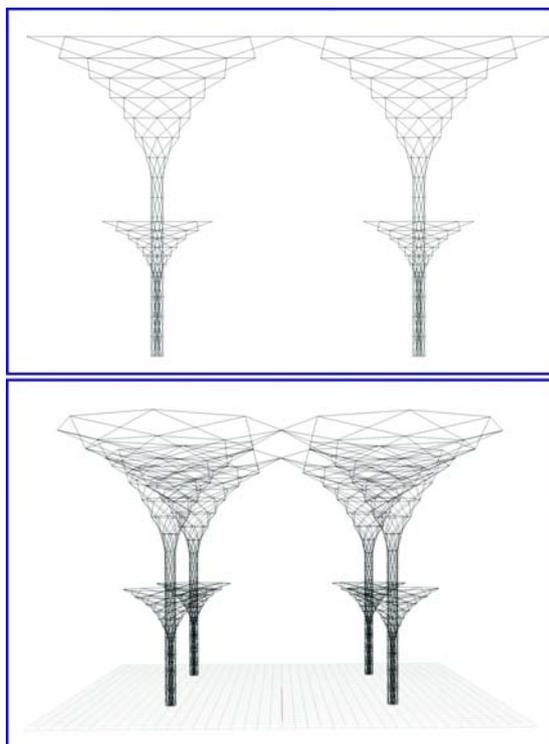


Рис. 2. Объемно-геометрическая схема колонн

Для традиционного «ручного» конструктивного расчета сложная форма колонны представляется, даже на сегодняшний день, исключительно трудоемкой, поэтому конструктивный расчет производился в автоматизированном режиме. Выбор колонны был неслучаен. Так как по художественному замыслу конструкции колонн предельно «обнажены» и представляют собой важнейшие элементы в интерьере, то очень важно знать их точные пропорции и размеры.

Для выполнения расчета в программе AutoCAD была построена трехмерная векторная модель нижней колонны, которая впоследствии была импортирована в программу «SCAD Office» как пространственно-стержневая система, состоящая из металлических элементов коробчатого сечения, соединенных друг с другом с помощью сварки.

Для осуществления автоматизированного расчета были определены следующие параметры нагрузок:

*1. Постоянная нагрузка на колонну (сетка колонн 6X6)*

NN	Нагрузки	Величина в килоньютонах (кн) на квадратный метр
1	Плита перекрытия (t=160mm)	4
2	Стяжка (t=50mm)	1,2
3	Плитка керамическая	0,2
	Итого на квадратный метр	5,4

Суммарная нагрузка на одну колонну — 194,4 кн.

Суммарная нагрузка на узел колонны — 24,3 кн.

## 2. Временная (полезная) нагрузка

Общественное здание (залы совещаний, выставочные):

Норма – 4,71 кн./ кв.м.

На одну колонну –  $4,71 \times 6 \times 6 = 169,6$  кн.

На узел колонны –  $169,6 / 8 = 21,1$  кн.

В сумме получается, что на одну колонну приходится нагрузка в 364 кн., а на один узел колонны — 45,5 кн. Исходя из того, что верхний пояс колонны представляет собой правильный восьмиугольник, примем нагрузку на один узел равной пяти тоннам (Рис. 3).

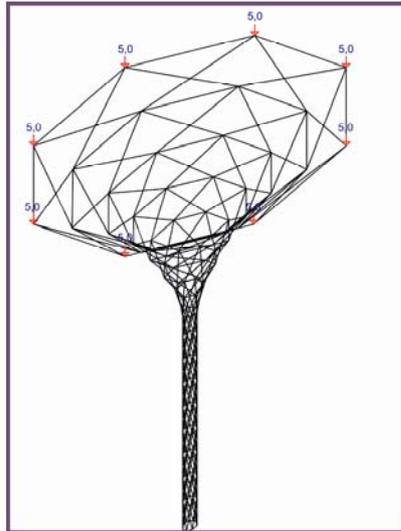


Рис. 3. Схема распределения нагрузок на узлы верхнего пояса колонны

Имея это значение и расчетную схему колонны, получаем возможность подбора физических параметров конструкции, способной нести заданную нагрузку. В результате расчета было получено, что для определенных марок стали размер сечения металлических элементов в самых нагруженных участках колонны должен составлять 30х30мм. Данное сечение элементов с художественной точки зрения следует признать вполне приемлемым, так как такая тонкость элементов придает колонне дополнительное впечатление ажурности и легкости (Рис. 4).

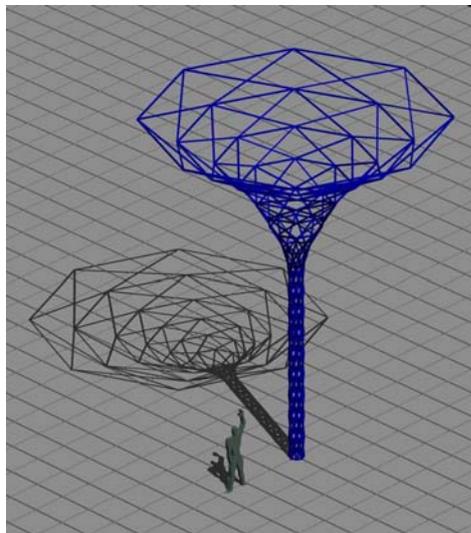


Рис. 4. Визуализация колонны с расчетной толщиной элементов и масштабом

Визуально она может показаться весьма хрупкой, и даже опасной. Однако, если бы, допустим, по расчету сечение металлических элементов получилось бы равным, к примеру, 100x100мм, то очевидно, что впечатление от колонны было бы совсем другим. И, очевидно, пришлось бы искать иное структурное решение для формы колонны. Поэтому, методика проектирования должна включать в себя такой важный элемент, как визуальная проверка конструктивных решений с помощью интуитивного зрительного восприятия.

В наши дни это становится возможным даже для студентов, выполняющих учебный проект, так как современные программные средства доступны для освоения обычным пользователям-проектировщикам. При этом сам процесс проектирования может выполняться в режиме реального времени, без затрат времени на трудоемкие дорогостоящие «ручные» расчеты конструкций, которые доступны только узким специалистам-смежникам.

Автоматизированный расчет конструкций может стать важнейшим средством архитектора, позволяющим оперативно «лепить» оптимальную и эстетически значимую конструкцию, соответствующую композиционно-образному решению проектируемого объекта. Архитектор получает возможность самостоятельно «встраивать» конструкцию в архитектурный образ, превращая процесс конструирования из части смежного раздела проектирования в часть художественного творчества.

Мы предполагаем, что расчетно-конструкторские программы следует рассматривать как мощный инструмент архитектора, дающий ему реальную возможность для полноценной творческой деятельности на уровне художественного конструирования. Пора уже рассматривать конструкцию как важнейший элемент архитектурного образа, а не как некий неэстетичный каркас, который архитектору нужно спрятать за «красивым» декором и бутафорией.

Очевидно, что в связи с бурным развитием программных продуктов, в ближайшие годы расчетно-конструкторские программы станут для архитектора привычным инструментом проектирования. Поэтому, актуальной становится проблема внедрения данных программ в структуру учебного плана бакалавриата. Сложность этой задачи заключается в необходимости ее комплексного решения усилиями специалистов разных кафедр, так как художественное конструирование может быть встроено в учебные задания по архитектурному проектированию, композиции и конструкциям.

Следует также отметить, что современные расчетно-конструкторские программы позволяют не только подбирать оптимальные параметры для той или иной расчетной схемы, но и наблюдать, как ведет себя конструкция под нагрузкой, что очень важно для эффективного освоения студентом материала. Программа SCAD Office, например, показывает, как деформируется геометрия конструкции под нагрузкой (Рис. 5).

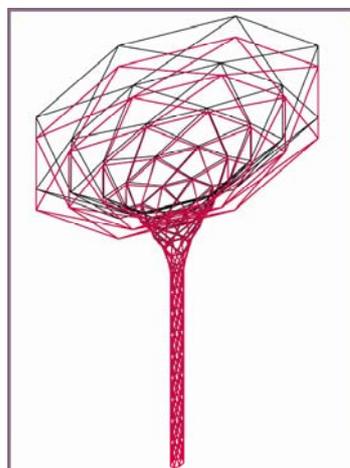


Рис. 5. Гипертрофированная деформация геометрии колонны под нагрузкой

Некоторые расчетные программы, например COSMOS, ANSYS и ряд других, позволяют визуально наблюдать, как работает материал под нагрузкой и в каких участках возникают критические напряжения. Предельно очевидными становятся действия скрытых в материале сил и напряжений. Возможность их художественного осмысления может дать архитектору основу для формирования тектонически-образных и бионических решений.

Важно отметить, что некоторые программы дают возможность заниматься, так называемым, оптимизационным конструированием. Так, представленная выше колонна была запроектирована на основе интуиции и проверена на способность выдержать определенную нагрузку. Использование конструкторской программы помогло только уточнить некоторые параметры (сечение элементов, материал). Однако очевидно, что данная геометрическая структура колонны не является оптимальной с точки зрения конструктивного подхода.

В настоящее время решению оптимизационных задач уделяется все большее внимание в теоретических исследованиях по строительным конструкциям. Создаются математические модели и методики поиска оптимальной геометрической формы для определенных строительных конструкций. В частности, успешно моделируются и решаются задачи по оптимальному распределению материала в конструкции с неизменяемой геометрией [5].

Очевидно, что конструкцию приведенной выше колонны можно было бы оптимизировать по критерию оптимального распределения материала. Полученное значение величины сечения металлических элементов относится только к самым напряженным участкам конструкции. В менее напряженных участках сечение может быть меньше и, соответственно, расход материала может быть уменьшен. Принципиально важно отметить, что еще более ста лет назад форма в архитектуре рассматривалась как реакция материала на внешние воздействия [6]. И, следовательно, возникает предположение, что форму архитектурного объекта можно «лепить» на основе подбора внешних нагрузок, свойств материала и расчетной схемы конструкции. Такой подход к формообразованию можно условно назвать архитектурным [7].

По всей видимости, в ближайшее время особенности формообразования в архитектуре будут приближаться к специфике формообразования в технике. Архитектура, в некоторых своих элементах (опорные и несущие элементы, структуры оболочек, фасадные системы), становится аналогичной промышленному дизайну объектов, обладающих специфическим свойством недвижимости (Рис. 6).



Рис. 6. Строящееся общественное здание в Новосибирске (арх. В.Н. Филиппов)

Полученный нами в результате проделанной работы с программой «Scadoffice» опыт позволяет утверждать, что данный вид расчета с помощью автоматизированных программ даёт основу для повышения качества конструктивных решений, сокращения сроков проектирования и, что принципиально важно, для нахождения наиболее эстетически значимых форм архитектурного образа.

Считаем, что данный программный продукт необходимо внедрять в учебное проектирование архитектурных вузов РФ. Существующий сегодня курс «Архитектурные конструкции» [8] необходимо дополнить новым курсом, который условно можно назвать «Архитектурно-художественное конструирование» или «Архитектоника». Использование в учебном процессе программы «SCAD Offis» с ее структурой, наглядностью и интерфейсом, интуитивно понятными для студентов, позволит значительно облегчить усвоение таких традиционно трудных предметов как «Теоретическая механика», «Сопромат» и «Строительные конструкции».

### Литература

1. Macdonald A.J. Structure and Architecture. Edinburg, 1994.
2. Charleson A.W. Structure as Architecture. Oxford, 2005.
3. Архитектурная бионика. Под ред. Ю.С. Лебедева. - М., 1990.
4. Радзюкевич А.В., Пальчунов С.П. «Архитектоника для архитекторов» [Сетевой ресурс]. - URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2009/4kvart09/Radzjukevich/Article.php>
5. Алпатов В.Ю. Оптимальное проектирование металлических структур: дис. канд. тех. наук. - Самара, 2002.
6. Николаев Б. Физические начала архитектурных форм. Опыт исследования хронических деформаций зданий. – СПб, 1905.
7. Радзюкевич А.В., Козлов Г.В. Компьютерное моделирование как инструмент изучения тектонических особенностей архитектурной формы [Сетевой ресурс]. - URL: <http://artmatlab.ru/articles.php?id=59&sm=2>
8. Беспалов В.В. Архитектурные конструкции: Учебник для вузов по специальности "Архитектура". - М., 2011.

### References

1. Macdonald A.J. Structure and Architecture. Edinburg, 1994.
2. Charleson A.W. Structure as Architecture. Oxford, 2005.
3. Lebedev Yu.S. *Arhitekturnaja bionika* [Architectural bionics]. Moscow, 1990.
4. Radzjukevich A., Pal'chynov S. *Arhitektonika dlja arhitektorov* [Architectonic for Architects]. Available at: <http://www.marhi.ru/AMIT/2009/4kvart09/Radzjukevich/Article.php>
5. Alpatov V.U. *Optimal'noe proektirovanie metallicheskih struktur* [Optimal design of metal structures. Cand. Dis. Thesis]. Samara, 2002.

6. Nikolaev B. *Fizicheskie nachala arhitekturnyh form. Opyt issledovanija hronicheskikh deformacij zdanij* [Physical beginning of the architectural forms. Research experience chronic deformation of buildings]. St. Petersburg, 1905.
7. Radzjukevich A., Kozlov G. *Komp'yuternoe modelirovanie kak instrument izuchenija tektonicheskikh osobennostej arhitekturnoj formy* [Computer simulation as a tool to study the tectonic features of the architectural forms] Available at: <http://artmatlab.ru/articles.php?id=59&sm=2>
8. Bepalov V. *Arhitekturnye konstrukcii* [Architectural constructions]. Moscow, 2011.

## ДАнные ОБ АВТОРАХ

### **А.В. Радзюкевич**

Канд. арх, зав. кафедрой «Компьютерные технологии проектирования», Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия, Новосибирск, Россия  
e-mail: [radz@rambler.ru](mailto:radz@rambler.ru)

### **К.И. Ковалева**

Аспирант, Кафедра «Компьютерные технологии проектирования», Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия, Новосибирск, Россия  
e-mail: [Kovaleva\\_Kseniya@mail.ru](mailto:Kovaleva_Kseniya@mail.ru)

## DATA ABOUT THE AUTHORS

### **A. Radzjukevich**

PhD in Architecture, head of chair of Computer Technology Design, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia  
e-mail: [radz@rambler.ru](mailto:radz@rambler.ru)

### **K. Kovaleva**

Post-graduate student, chair of Computer Technology Design, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia  
e-mail: [Kovaleva\\_Kseniya@mail.ru](mailto:Kovaleva_Kseniya@mail.ru)