

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 CAE (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 инструментарий 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, CAE (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).

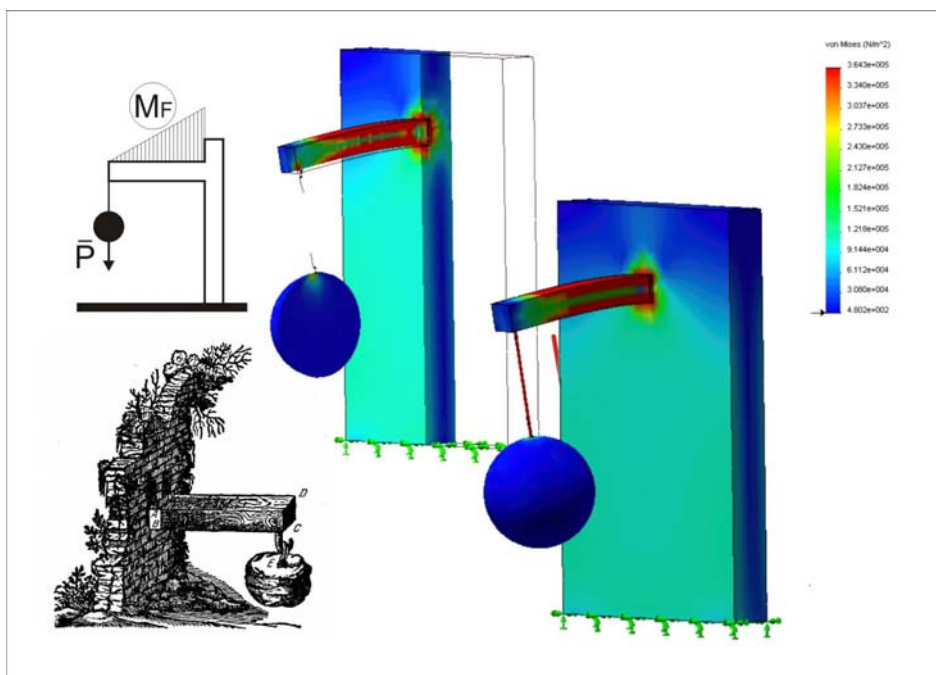


Рис. 1. Иллюстрация из трактата Галилео Галилея (слева), и результат расчета методом конечных элементов в программе Cosmos-M GeoStar

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, окрашенные 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

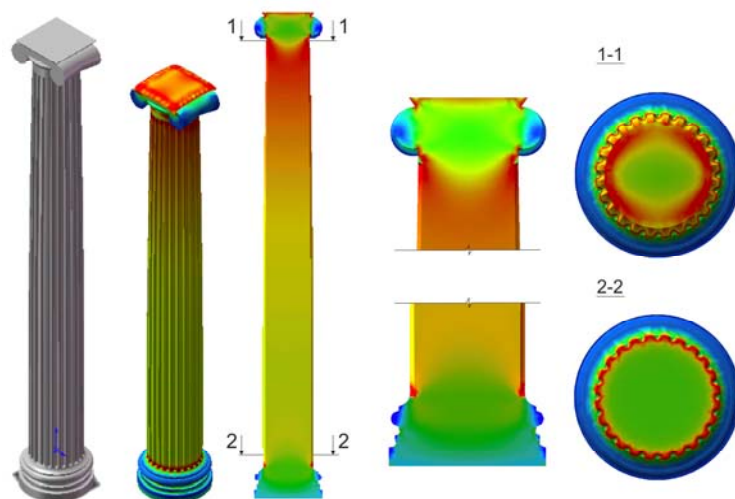


Рис. 3. Ионический ордер восточного портика Эрехтейона

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).

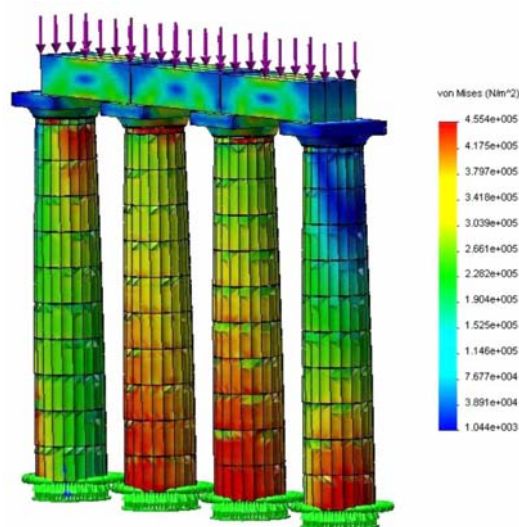


Рис. 5. Визуализация поверхностных напряжений элементов ордера Парфенона, находящихся под нагрузкой

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).

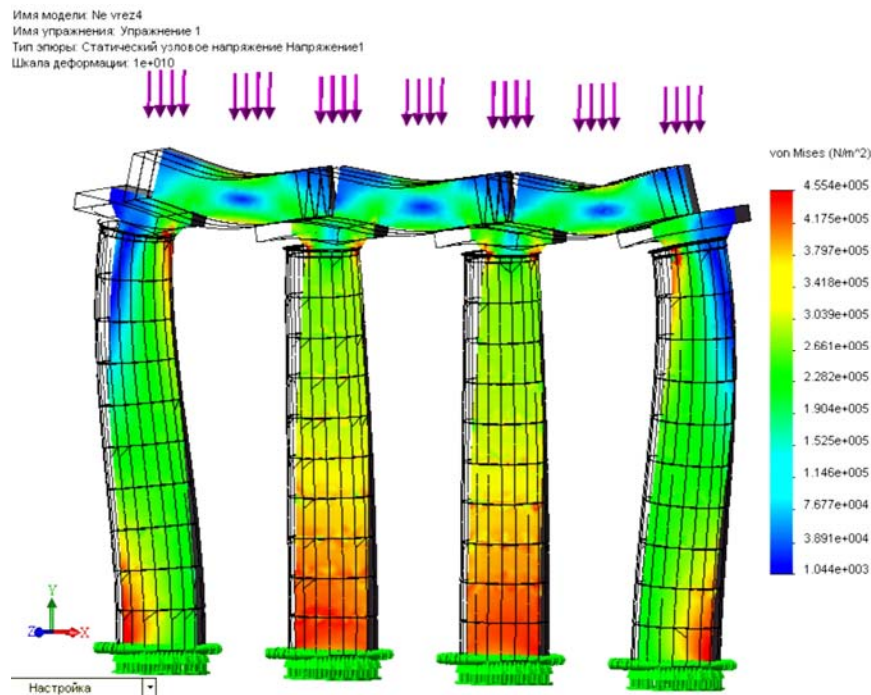


Рис. 6. Визуализация напряжений в системе архитравных балок и колонн Парфенона с показом деформаций в укрупненном масштабе

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 архитектонических особенностей форм памятников архитектуры. Любопытно, что данный инструментарий может быть использован и для анализа современных архитектурных форм, среди которых встречается большое количество архитектонических 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 архитектонику» [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).

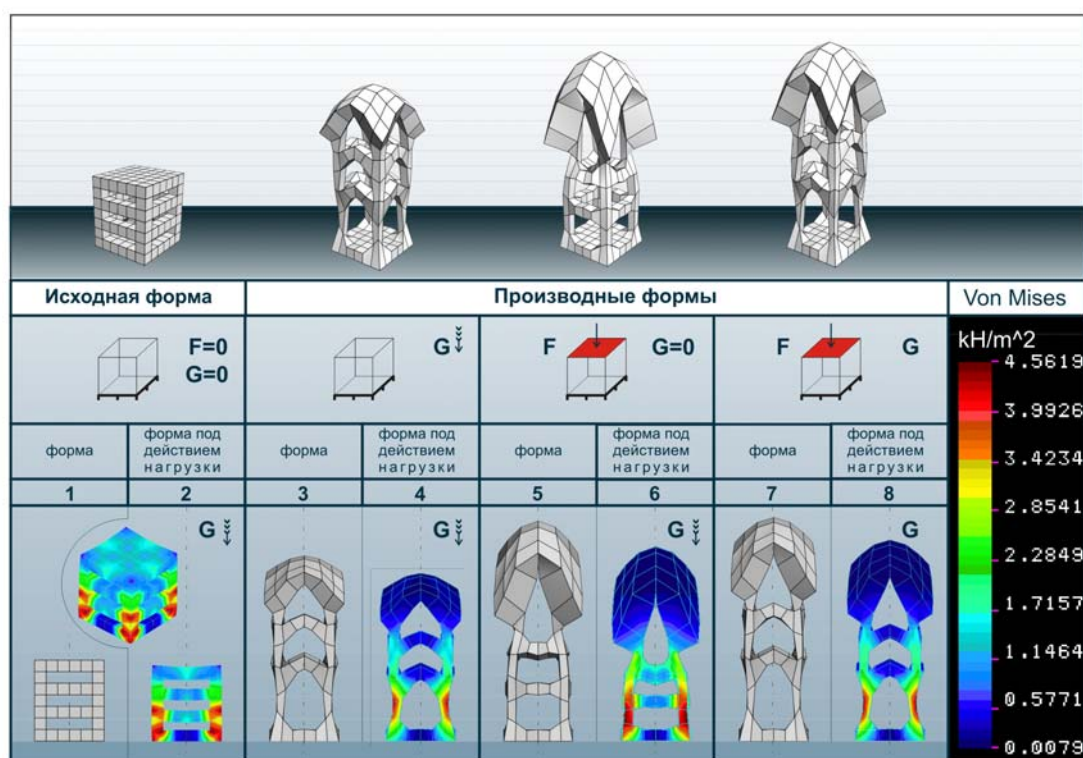


Рис. 7. Моделирование обратной деформации формы кубика-этажерки, нагруженной сверху равномерно распределенной нагрузкой

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).

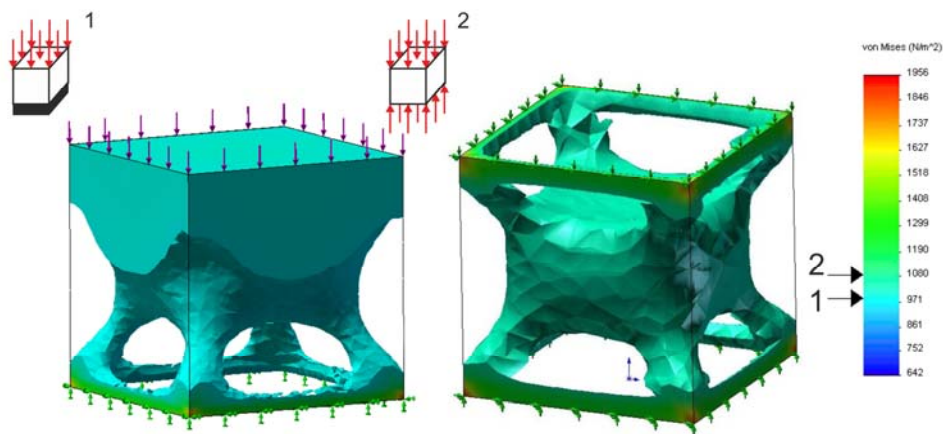


Рис. 8. Пространственная структура полей напряжений в сплошной кубической форме

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).

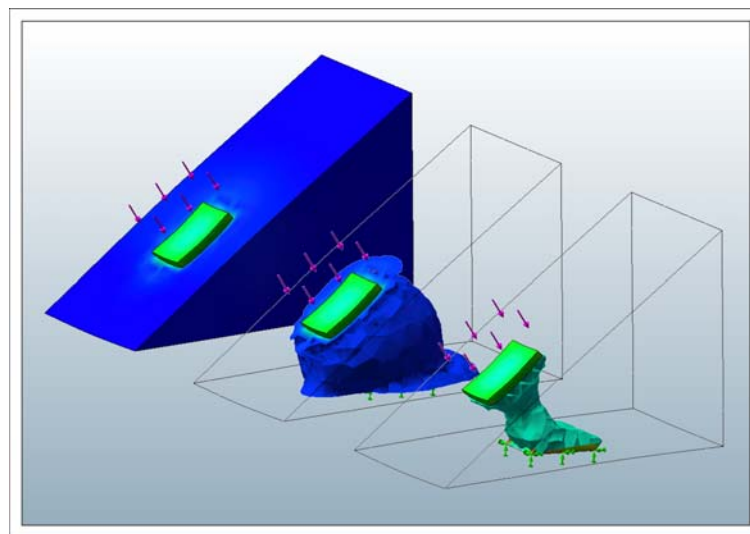


Рис. 9. Пространственная среда, ограниченная формой с приложенными механическими воздействиями к граням основной формы в определенных площадках

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).

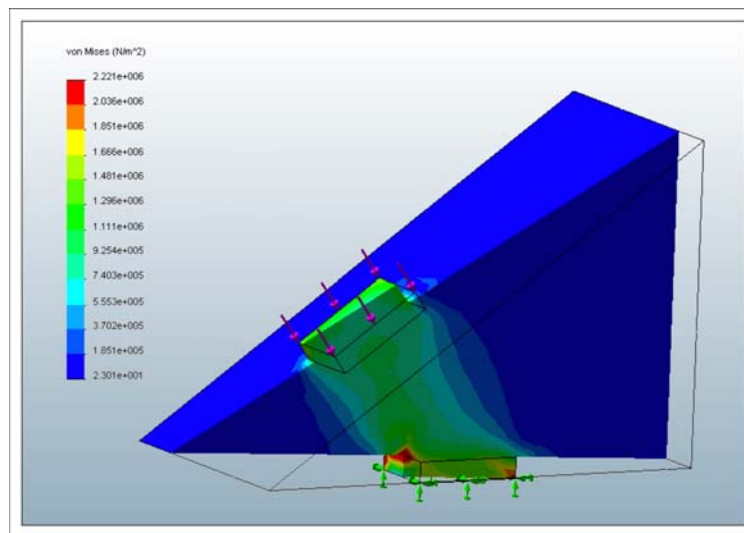


Рис 10. Разрез объекта со сплошной средой с механическим воздействием в двух площадках на его различных гранях

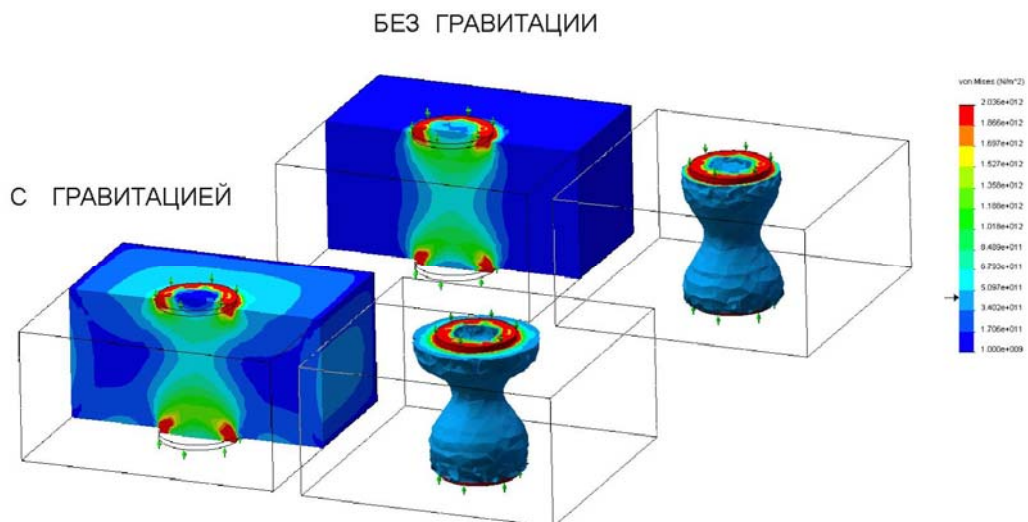


Рис. 11. Визуализация зависимости пространственной структуры напряжений от действия гравитационной силы

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 защемленных 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, жалеет, 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 Vinci. 1452-1519* [Leonardo da Vinci. 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

Г. Козлов

Магистрант, Кафедра «Компьютерные технологии проектирования», Новосибирская государственная архитектурно – художественная академия, Новосибирск, Россия
e-mail: 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

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