

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ФОРМ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНСТРУКЦИЯМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.Л. Подгорный¹, Е.А. Гринько²,
Н.А. Соловей¹

¹Киевский национальный университет строительства и архитектуры
пр. Повитрофлотский, 31, Киев-037, Украина, 252037

²Кафедра прочности материалов и конструкций
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 117198

Рассматривается вопрос о возможности применения пространственных конструкций со сложными поверхностями в конструкциях строительного и машиностроительного назначения в России и Украине. Подчеркивается, что особенно следует обращать внимание на то, чтобы не пропал интерес к использованию пространственных тонкостенных конструкций у молодежи.

Ключевые слова: аналитические поверхности, торсовые поверхности, зонтичные поверхности, циклические поверхности, винтовые поверхности, ротативные поверхности, формообразование оболочек, прикладная геометрия, инженерная графика.

В связи с появлением новых материалов и технологий для изготовления строительных конструкций и сооружений у архитекторов возрождается интерес к созданию пространственных большепролетных форм. Большую роль здесь играют также возросшие требования к эргономичности конструкций и сооружений. В последнее время появилось довольно большое число проектов — как воплощенных



Рис. 1. Проект молодежного культурного центра (г. Ханой, Вьетнам)

в материале, так и находящихся в стадии чертежей и эскизов. Как показывает опыт, студенты охотно берут за основу своих дипломных проектов тонкостенные пространственные конструкции (рис. 1). Следовательно, параллельно необходимо развивать геометрические исследования по созданию новых аналитических поверхностей применительно к срединным поверхностям оболочечных конструкций для сооружений различного назначения.

В СССР существовала мощная геометрическая школа, работавшая в этом направлении. Многим известны работы таких ученых-геометров, как Н.Н. Рыжов [1], В.А. Лебедев [2], Г.В. Брант [3], В.С. Обухова [4].

Однако в связи с утратой интереса к оболочкам в 1980—2000 гг. исследования новых поверхностей и их создание практически прекратилось. Только в Украине благодаря стараниям ряда ученых-энтузиастов (В.Е. Михайленко [5], А.Л. Подгорный [6], И.А. Скидан [7], С.Н. Ковалев [8] и др.) исследования не прекращались

и продолжают активно развиваться. В настоящее время здесь ежегодно проводятся международные научные конференции «Современные проблемы геометрического моделирования» (Мелитополь, ТДАТУ), «Геометрическое и компьютерное моделирование: энергосбережение, экология, дизайн» (Симферополь, НАПКС), конференции в научных центрах Украины. Среди последних следует отметить две украино-российские конференции, проведенные в Харькове в 2005 и 2009 гг.

Участие в этих конференциях представителей школы РУДН показывает, что восстановление и развитие существовавших ранее связей является одним из перспективных шагов.

Сейчас в экономически благополучных странах возрождается интерес к новым уникальным конструкциям, в том числе пространственным со сложными поверхностями. В связи с этим необходимо уделять особое внимание подготовке молодых ученых и выпускников вузов с высокой квалификацией в области проектирования и исследования пространственных конструкций.

В Украине хорошо налажена подготовка докторов и кандидатов наук по специальности «Прикладная геометрия и инженерная графика». Сложилась целая плеяда молодых украинских ученых-геометров, развивающих исследования и аналитическое описание поверхностей, применимых к формообразованию конструкций: доктора технических наук С.Ф. Пилипака [9], В.Н. Невидомин [10], С.И. Пустюльга [11], кандидаты наук С.О. Вирич [12] (рис. 2), О.В. Фролов [13] и др.

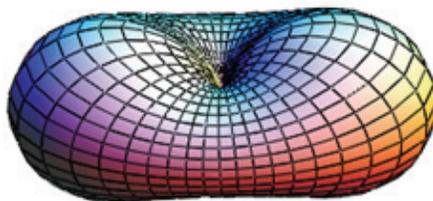


Рис. 2. Поверхность Вирича

В Киевском национальном университете строительства и архитектуры (КНУБА) при разработке вычислительных комплексов (ВК), предназначенных для исследования нелинейного деформирования и устойчивости тонкостенных пространственных конструкций в виде оболочек неоднородной структуры и сложной геометрической формы, широко используются как известные, так и оригинальные геометрические разработки [14]. В отличие от подходов, используемых в комплексах SCAD и ЛИРА, где двумерные конечноэлементные модели оболочек (КЭМО) строятся на опорных планах разной конфигурации как криволинейные поверхности, заданные в декартовой системе, в ВК КНУБА эта проблема решена за счет специально разработанной технологии формирования геометрии трехмерных КЭМО сложной геометрической формы, которая реализована в виде инвариантной подсистемы [15; 16]. Оригинальной разработкой является способ задания геометрии трехмерной КЭМО, в которой срединная поверхность оболочки описывается аналитически в явном виде в декартовой или в обобщенной цилиндрической системе координат. При этом толщина оболочки задается по нормали к срединной поверхности как функция от двух ее местных координат.

В России в последнее время активно работают только 4—5 групп исследователей, в том числе группа под руководством А.Л. Мартиросова (РГСУ, Ростов-на-Дону) [17], С.Н. Кривошاپко [18; 19], В.Н. Иванова [19; 20] и их аспиранты из РУДН (Москва); лаборатория Тонкостенных пространственных конструкций

НИИЖБа (Москва) под руководством заслуженного деятеля науки России В.В. Шугаева [21] и группа казанских ученых под руководством профессора Н.М. Якупова [22] (лаборатория Нелинейной механики ИММ КазНЦ РАН, Казань).

В Российском университете дружбы народов создан и работает в течение четырех лет межвузовский научный семинар «Геометрия и расчет тонких оболочек неканонической формы», учредителем которого являются восемь университетов Москвы, Волгограда, Казани и Йошкар-Олы (<http://shell-sem.narod.ru>). На семинаре выступают известные ученые, поэтому результаты их исследований интересны как состоявшимся ученым, так и аспирантам, и студентам.

Студенты РУДН — постоянные участники всероссийских выставок НТТМ-2003—2010 (Москва, ВВЦ), на которых они демонстрировали свои достижения в области применения новых аналитических поверхностей в архитектуре зданий, конструкций и изделий. Многие студенты опубликовали научные статьи в сборниках трудов конференций. Только за последние три года ими было опубликовано по теме 12 статей [23].

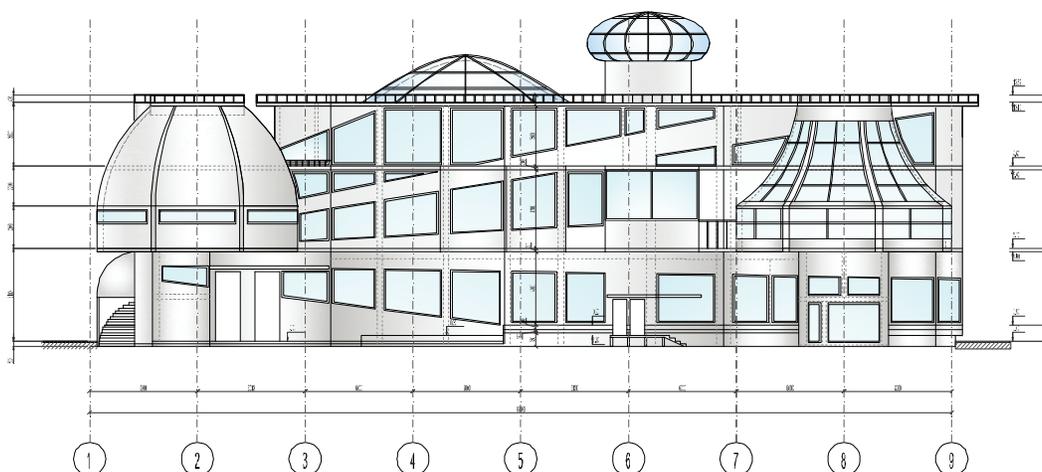


Рис. 3. Фасад здания спортивно-развлекательного центра

Аспирантка РУДН Е.М. Емельянова [24] получила грант УМНИК-МФТИ (2011) «Спортивно-развлекательный центр» на разработку проекта с тремя инновационными оболочками (рис. 3). Все известные на сегодняшний день аналитические поверхности собраны в энциклопедии [25]. Эта энциклопедия в 2011 г. была награждена дипломом РААСН. Студент РУДН А.К. Тропкин получил грант УМНИК-РУДН (2012) «Электронная версия энциклопедии аналитических поверхностей» на разработку электронной версии энциклопедии [25], где представленные поверхности можно будет поворачивать в трех направлениях. Все указанное выше показывает, что на инженерном факультете РУДН продолжает действовать научная школа, основанная профессором В.Г. Рекачом в 1965 г. В настоящее время школой руководят доктора технических наук, профессора С.Н. Кривошапко и В.Н. Иванов, которые ведут научные разработки в направлении исследования геометрии и расчета на прочность тонких оболочек неканонической формы, преимущественно торсовых, циклических и резных [25—27].

А.Л. Мартиросов из РГСУ (Ростов-на-Дону) со своими учениками и коллегами (Г.С. Рачковская, А.В. Замятин, С.В. Бескопыльная, А.В. Ефременко, И.В. Кашина, Н.Н. Титомиров и др.) для создания новых поверхностей используют ротативное движение подвижного аксоида по неподвижному (рис. 4). На базе ротативных преобразований ими получены многопараметрические геометрические модели и геометрические образы для применения их в объектах строительства и машиностроения [17]. Многие способы создания моделей защищены патентами.

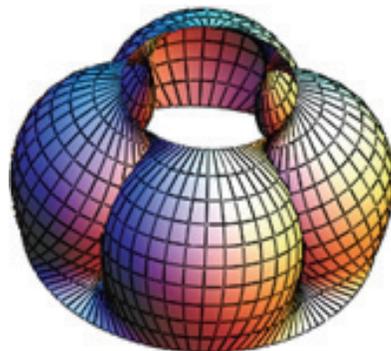


Рис. 4. Ротативная поверхность, с аксоидами «конус-конус», образованная параболой при наружном обкатывании [25]

Профессор В.В. Шугаев, заведующий лабораторией Тонкостенных пространственных конструкций НИИЖБа, президент МОО «Пространственные конструкции» уделяет много внимания пропаганде и внедрению пространственных конструкций в практику. Совместно с Б.С. Соколовым, Т.В. Щербина, А.С. Кочетковой он разработал свод правил «СП 52-117-2008. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть 1. Методы расчета и конструирование». Этот свод правил распространяется на проектирование железобетонных оболочек, складок и других тонкостенных пространственных конструкций покрытий и перекрытий зданий и сооружений промышленного, гражданского и сельскохозяйственного строительства. Как президент МОО «Пространственные конструкции» проф. В.В. Шугаев принимает активное участие в организации ежегодных сессий МОО «Актуальные вопросы исследований и проектирования пространственных конструкций с применением физического и компьютерного моделирования».

Н.М. Якупов и его коллеги предложили и продолжают совершенствовать метод параметризации срединной поверхности оболочки сложной геометрии с помощью координат единичного квадрата [22]. Они получили формулы для вычисления геометрических характеристик поверхностей в прямоугольной, цилиндрической, сферической и тороидальной системах координат, занимались исследованиями винтовых, резных, гиперболических, минимальных [28] и дискретно-заданных поверхностей.

Краткая информация о состоянии дел в области создания новых форм для сооружений и конструкций строительного назначения показывает, что это научное направление в России сохранило свои позиции, хотя и держится на небольшом количестве энтузиастов. Будет обидно, если оно после 10-летнего подъема снова начнет терять своих приверженцев. Особенно следует обращать внимание, чтобы не пропал интерес к использованию пространственных тонкостенных конструкций у молодежи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рыжов Н.Н., Алимов Р.У. К вопросу конструирования торсов по наперед заданным условиям // Прикладная геометрия и инженерная графика. — Киев, 1979. — Вып. 27. — С. 15—17.

- [2] *Лебедев В.А.* Тонкостенные зонтичные оболочки. — Л.: Госстройиздат, 1958.
- [3] *Брандт Г.В.* Исследования уравнения поверхности оболочки, образованной двухфокусной кривой // Сб. тр. ВЗПИ. Сер.: «Строительство и архитектура». — М.: ВЗПИ, 1973. — С. 76—86.
- [4] *Обухова В.С.* Описание торсов 4-го порядка в произвольной координатной системе его бипланар // Прикладная геометрия и инженерная графика. — Киев, 1986. — Вып. 42. — С. 10—15.
- [5] *Михайленко В.Е., Обухова В.С., Подгорный А.Л.* Формообразование оболочек в архитектуре. — Киев: Будівельник, 1972.
- [6] *Подгорный А.Л., Обухова В.С.* Формообразование оболочек из отсеков косых и торсовых поверхностей высших порядков // *Shells in Architecture and Strength Analysis of Thin-Walled Civil-Engineering and Machine-Building Constructions of Complex Forms*. — Москва, 4—8 июня 2001 г. — М.: Изд-во РУДН, 2001. — С. 324—329.
- [7] *Скідан Ш.А.* Прикладна геометрія поверхонь: координація, параметризація, візуалізація // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — Київ, 2011. — Вип. 87. — С. 23—30.
- [8] *Ковалев С.Н.* Формирование дискретных моделей пространственных архитектурных конструкций: Дисс. ... докт. техн. наук. — М., 1986.
- [9] *Пилипака С.Ф.* Конструювання поверхонь та їх неперервне згинання в кінцеві форми на основі управління натуральними параметрами: Дисс. ... докт. техн. наук. — К., 2000.
- [10] *Несвідомін В.Н.* Обчислювальні методи лінійчатої поверхні 4-го порядку по двух конічних перерізах // Праці ТДАТУ. Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. — Мелітополь, 2008. — Т. 39. — С. 80—85.
- [11] *Пустюльга С.І.* Дискретне визначення геометричних об'єктів числовими послідовностями: Дисс. ... докт. техн. наук. — К., 2006.
- [12] *Вірич С.О.* Параметризація циклічної поверхні // Геометричне та комп'ютерне моделювання. — Харків: ХДУХТ, 2004. — Вип. 7. — С. 88—92.
- [13] *Фролов О.В.* Конструювання каналових поверхонь Іоахимстала виділенням з конгруенції траєкторій, ортогональних сім'ї сфер із центрами на прямій // Геометричне та комп'ютерне моделювання: Зб. наук. праць. — Вип. 9. — Харків: ХДУХТ, 2005. — С. 38—44.
- [14] *Баженов В.А., Кривенко О.П., Соловей М.О.* Нелінійне деформування та стійкість пружних оболонок неоднорідної структури. — К.: Віпол, 2010.
- [15] *Баженов В.А., Дехтярюк Е.С., Соловей Н.А., Кривенко О.П.* Формирование конечно-элементных моделей оболочек сложной формы // *Архитектура оболочек и прочностной расчет тонкостенных и машиностроительных конструкций сложной формы: Труды Международной научной конференции*. — М.: Изд-во РУДН, 2001. — С. 30—34.
- [16] *Solovey N.A.* Geometrical modelling of shells with complex form by finite element system for strength analyses // *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. — К.: КНУБА, 2001. — Вип. 69. — С. 245—251.
- [17] *Мартиросов А.Л.* Ротативные преобразования пространства. — Ростов-на-Дону, 2006.
- [18] *Кривошапко С.Н.* Поверхности конгруэнтных сечений на круговом цилиндре // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. — 2008. — № 3. — С. 3—5.
- [19] *Иванов В.Н., Кривошапко С.Н.* Конструирование зонтичных оболочек из отсеков циклических оболочек переноса // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. — 2011. — № 1. — С. 3—7.
- [20] *Иванов В.Н.* Геометрия и формообразование многогранных коробчатых криволинейных поверхностей на базовой циклической поверхности // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. — 2011. — № 2. — С. 3—10.
- [21] *Шугаев В.В.* Инженерный метод в нелинейной теории предельного равновесия оболочек. — М.: НИИЖБ, 2001.
- [22] *Якупов Н.М., Серазутдинов М.Н.* Расчет упругих тонкостенных конструкций сложной геометрии. — Казань, 1993.

- [23] *Gorkalo A.* Nuevas formas aeguitectónicas en el espacio urbano contemporáneo // Труды международной научно-практической конференции «Инженерные системы — 2011», Москва, 5—8 апреля 2011 г. — М.: Изд-во РУДН, 2011. — С. 131—136.
- [24] *Кривошапко С.Н., Емельянова Е.М., Мамиева И.А.* Объемно-планировочные решения спортивно-развлекательного комплекса // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2011. — № 4. — С. 46—49.
- [25] *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. — М.: ЛИБРОКОМ, 2010.
- [26] *Кривошапко С.Н.* Геометрия линейчатых поверхностей с ребром возврата и линейная теория расчета торсовых оболочек: Монография. — М.: Изд-во РУДН, 2009.
- [27] *Иванов В.Н., Кривошапко С.Н.* Аналитические методы расчета оболочек неканонической формы: Монография. — М.: Изд-во РУДН, 2010.
- [28] *Мифтахутдинов И.Х.* Наглядная геометрия оболочек минимальной поверхности. — Казань: Новое знание, 2009.

ON RESEARCH OF NEW SURFACE FORMS AS APPLIED TO STRUCTURES OF DIVERSE PURPOSE

**A.L. Podgorniy¹, E.A. Grinko²,
N.A. Solovey¹**

¹Kiev National University of Building and Architecture
Pr. Povitroflotskiy, 31, Kiev-37, Ukraine, 252037

²Department of Strength of Materials and Structures
Engineering faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 117198

The state of affairs in the field of research of new surface forms used as building and machine structures in Russia and Ukraine is analyzed. It is emphasized that well-known geomericians must keep up the interest of young peoples to spatial thin-walled structures.

Key words: analytical surface, developable surface, umbrella surface, cyclic surface, helical surface, rotative surface, shell design, applied geometry, computer graphic.