



УДК 624.046:004.94

С. С. ШИЛОВ, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики; **А. В. ФЕДОРОВ**, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; **А. А. МОЛЕВА**, студент

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: +7 961-631-06-81, +7 962-599-10-22; эл. почта: sergey.shilov.1997mail.ru, andrey.fedorov7a@mail.ru

Ключевые слова: параметрическая модель, поверхность двоякой кривизны, гиперболический параболоид, ветровая нагрузка.

Описываются различные геометрические формы, применяемые для формирования выразительного архитектурного облика зданий и сооружений. Изложен способ построения такой поверхности двоякой кривизны, как гиперболический параболоид. На начальной стадии проектирования основную роль играет геометрическая оптимизация формы здания и оценка ее способности влиять на напряженно-деформированное состояние всего объекта от действия атмосферных явлений, в частности от воздействия ветровых потоков. Описывается порядок параметризации характерных геометрических размеров исследуемой поверхности. Приводятся итоговые параметры и их взаимосвязь, позволяющие получать множество геометрических форм одинаковой конфигурации. В заключение приводится пример использования параметрического моделирования для увеличения жизненного цикла здания.

Процесс возведения зданий и сооружений начинается с выбора геометрической формы, которая играет важную роль в формировании архитектурного облика объекта, а также может передавать различные эмоции и создавать определенную атмосферу. При построении внешнего очертания здания применяют как простые фигуры (квадрат, цилиндр, треугольник), так и сложные фигуры (пространственные оболочки, поверхности двоякой кривизны и т. д.).

Если при проектировании опираться только на придание зданию выразительной архитектурной формы, это может оказаться нерациональным подходом с точки зрения иных областей науки и техники, так как любое здание или сооружение должны отвечать условиям прочности, жесткости и устойчивости при воздействии внешней нагрузки.

Применение поверхностей двоякой кривизны позволяет создавать уникальные архитектурные объекты, которые отличаются своей эстетикой и функциональностью. Одной из таких поверхностей является гиперболический параболоид, который был выбран в качестве объекта исследования [1–3]. Данная поверхность является крайне сложной с точки зрения оценки на аэродинамические воздействия, такие как ветровые нагрузки. Из-за этого поднимается проблема придания зданию рациональной формы, при которой будет снижено влияние такого рода природных явлений.

Для построения гиперболического параболоида используется специальная модель. Эта модель включает в себя две параболы, располагающиеся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 1).

Пусть парабола I располагается в плоскости XOZ и неподвижна. Парабола II совершает сложное движение:

- ее начальное положение совпадает с плоскостью ZOY , причем вершина параболы совпадает с началом координат;
- далее эта парабола совершает движение: параллельный перенос, причем ее вершина N совершает траекторию, совпадающую с параболой I;
- для образования гиперболического параболоида ветви параболы II направлены вниз.

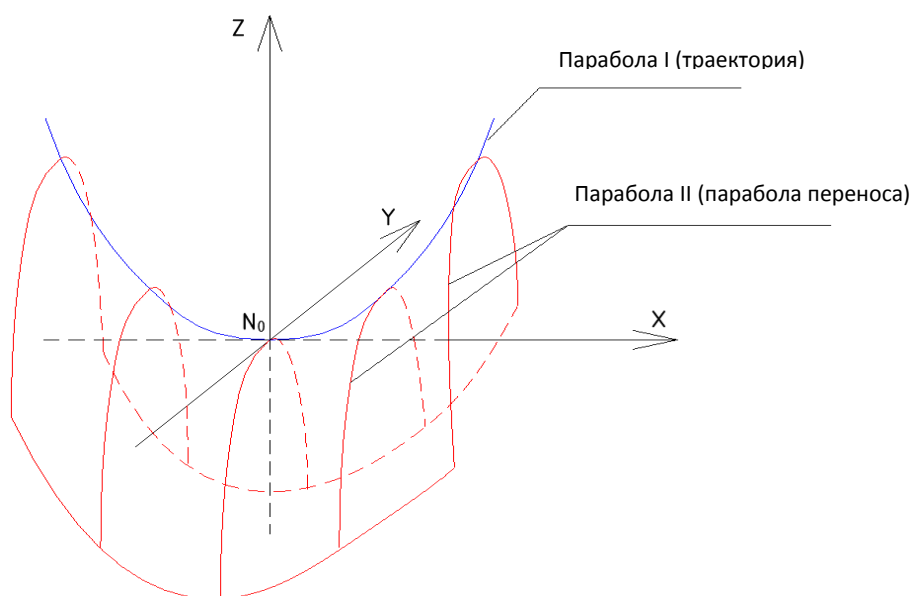


Рис. 1. Формообразующие параболического гиперболоида

Ранее были опубликованы научные статьи [4, 5], где исследовались покрытия здания, включающие в свой состав гиперболический параболоид. Геометрические размеры основной модели приведены на рис. 2.

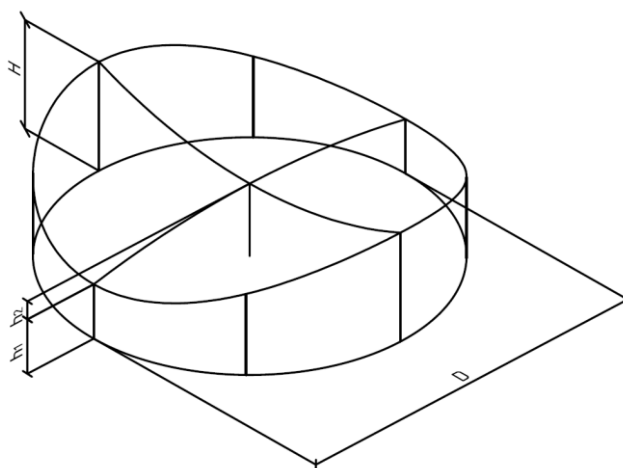


Рис. 2. Геометрическая схема исследуемой формы

К СТАТЬЕ С. С. ШИЛОВА, А. В. ФЕДЕРОВА, А. А. МОЛЕВОЙ
«ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ
УВЕЛИЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

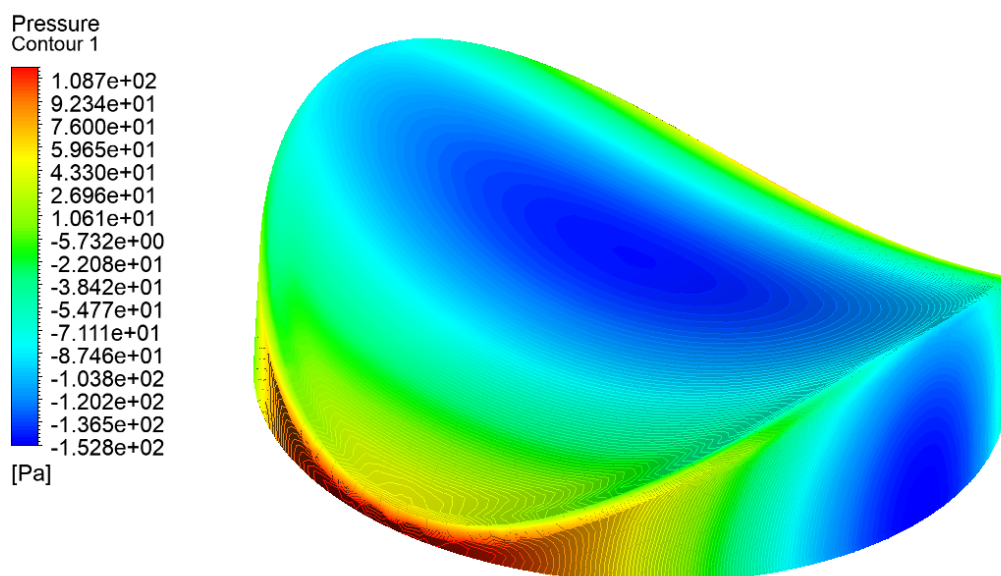


Рис. 1. Изополя ветровых давлений (при $h_1 = 1,0$ м, $h_2 = 5,0$ м)

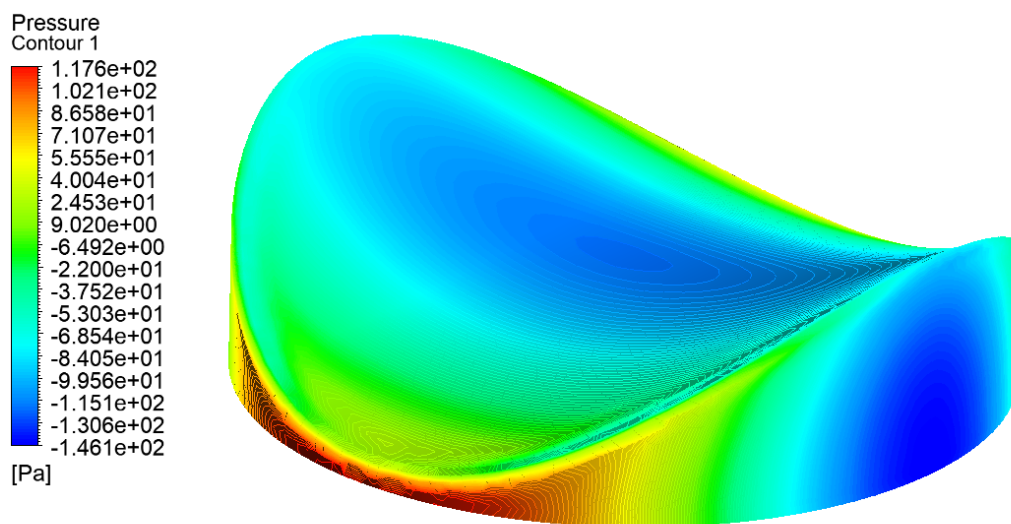


Рис. 2. Изополя ветровых давлений ($h_1 = 1,0$ м, $h_2 = 7,0$ м)

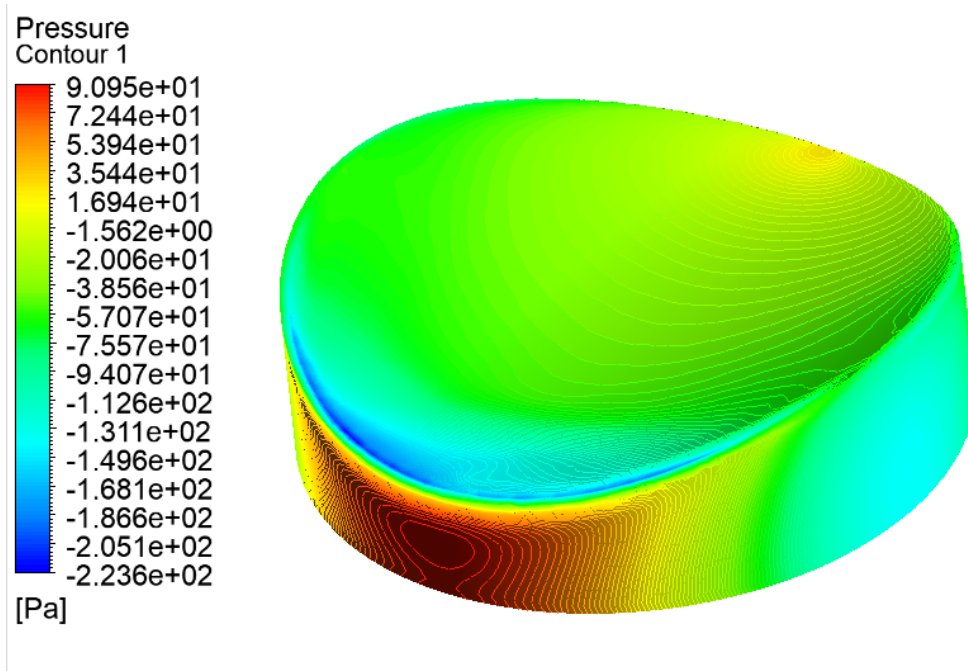


Рис. 3. Изополя ветровых давлений ($h_1 = 9,0$ м, $h_2 = 5,0$ м)

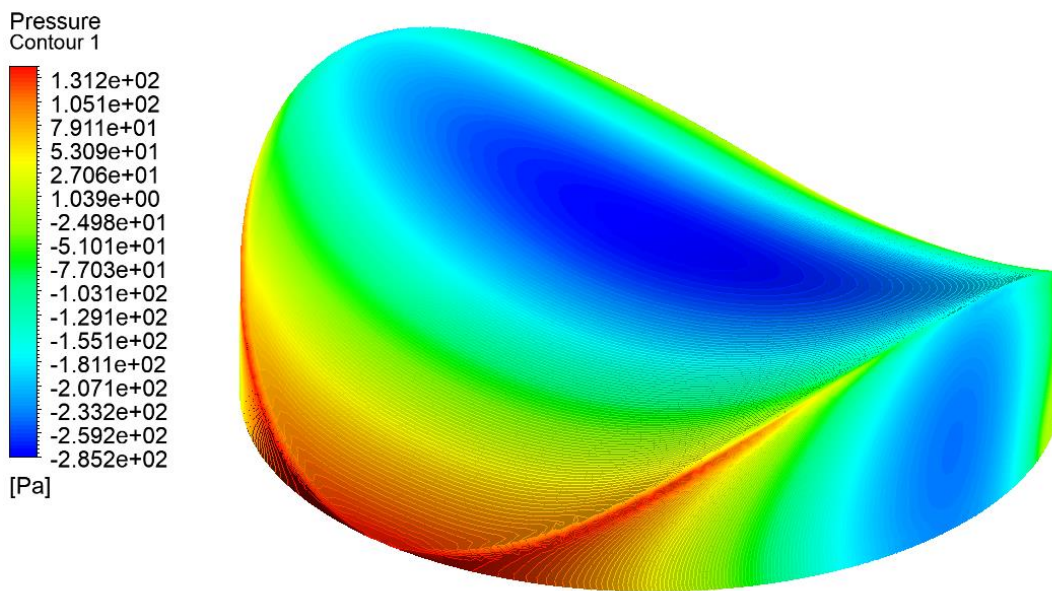


Рис. 4. Изополя ветровых давлений ($h_1 = 0,0$ м, $h_2 = 5,0$ м)



Для оценки влияния аэродинамических воздействий на гиперболический параболоид использовались компьютерные программы, в которых реализованы модели потоков газов и жидкостей, в частности был применен *Ansys CFX*. Для проведения исследования каждая форма моделировалась отдельно, путем применения базовых способов построения твердотельных моделей. Данный способ является трудоемким и время затратным. Поэтому для всесторонней оценки формы поверхности авторами рекомендуется применять параметрические модели. Проблематика геометрического формообразования при работе с архитектурными объектами затрагивается в работах других отечественных и зарубежных исследователей [6–11].

Несомненным достоинством параметрической модели является экономия времени: при использовании параметрической модели можно получать геометрические формы одинаковые по своей конфигурации, но отличающиеся по какому-либо параметру. Параметрическая модель позволяет легко и быстро проводить анализ различных вариантов фигур и их взаимосвязей.

Для создания параметрической модели было создано семейство в среде информационного моделирования *Autodesk Revit*. Семейство является цифровым аналогом физического строительного элемента [12, 13].

Начало моделирования геометрической формы начиналось с создания рабочих плоскостей, ограничивающих габариты итогового объекта. Была создана простая фигура в виде цилиндра с присвоением параметров высоты и диаметра (рис. 3).

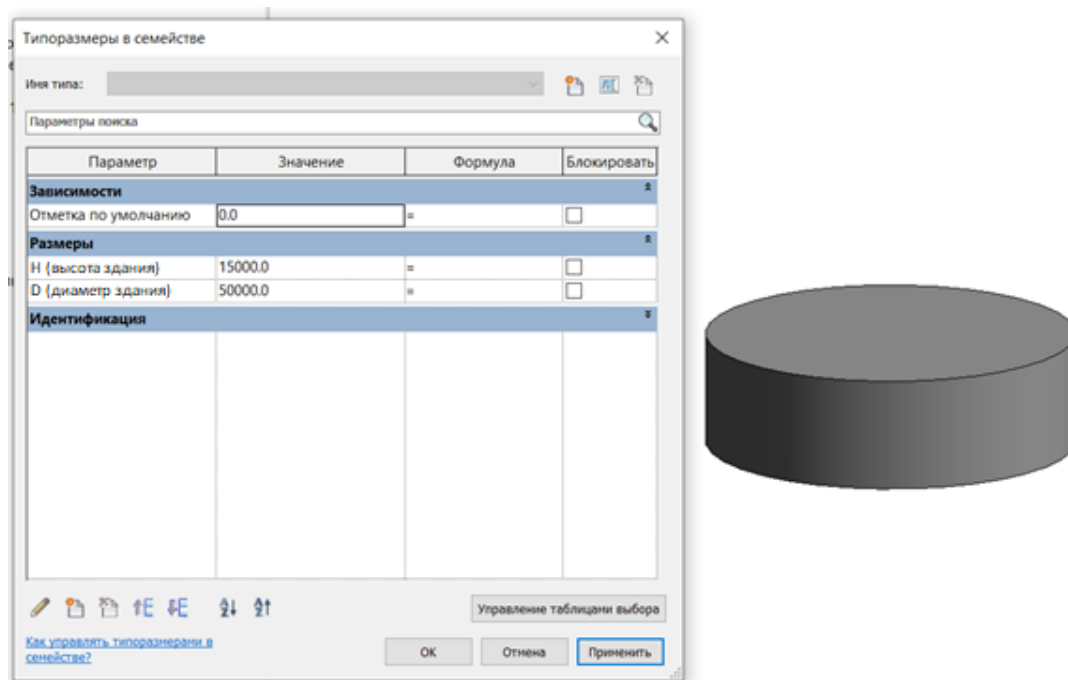


Рис. 3. Параметризированная форма цилиндра

На следующем этапе создавалось полое тело, которое служило объектом для вырезания геометрии из ранее созданного цилиндра и способствовало образованию поверхности кровли в виде параболического гиперболоида.

Объект вырезания создается при помощи элемента вращения, включающего в свой состав образующую, которая будет вращаться по радиусу, зависящему от высоты траектории (h_2). Предварительно задается при помощи рабочей плоскости центр окружности траектории и создается нужное сечение элемента вращения с присвоением параметров «Радиус образующей параболы» и «Радиус траектории параболы».

Также создается 2 вспомогательных параметра (рис. 4):

Вспомогательный параметр № 1, равный сумме радиуса образующей и радиуса траектории. Необходим для того, чтобы с изменением радиуса центр окружности образующей всегда смещался равнозначно двум заданным радиусам и вырез фигуры не перемещался в вертикальной плоскости.

Вспомогательный параметр № 2, равный диаметру образующей. Необходим, чтобы вырез изменял свою ширину в зависимости от заданного радиуса и не смещался в боковом направлении относительно основного цилиндра.

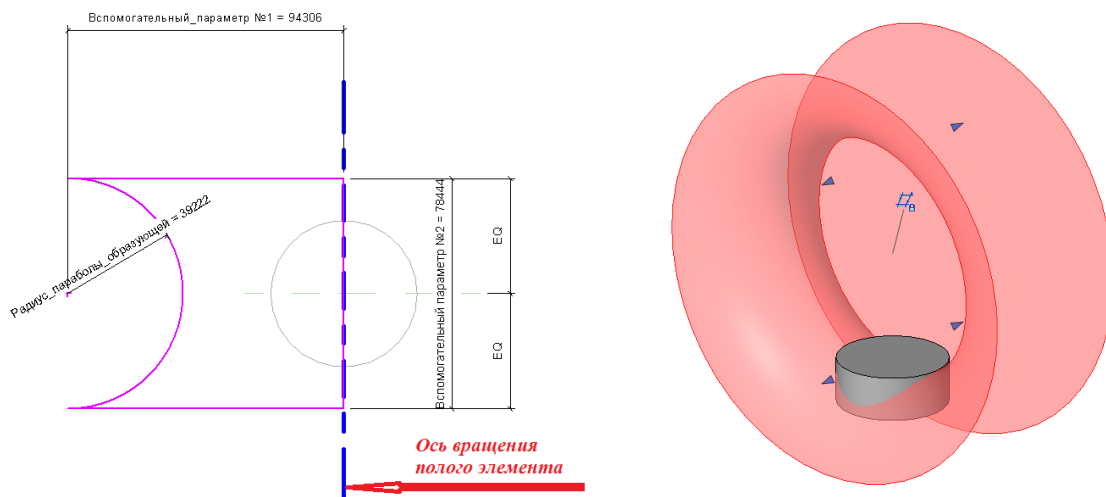


Рис. 4. Схема объекта вырезания

На следующем этапе необходимо создать зависимость радиуса параболы траектории и образующей в зависимости от заданной высоты (рис. 5). Данная зависимость может быть записана в виде выражения:

$$R = \frac{L^2 + 4h^2}{8h} \quad (1)$$

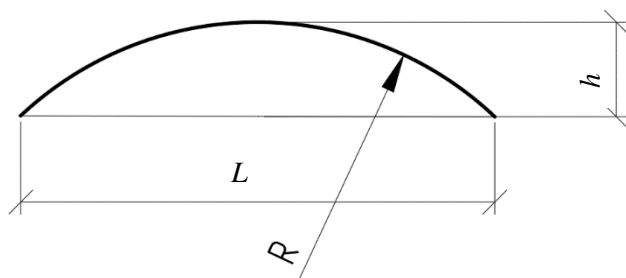


Рис. 5. Геометрическая схема параболы



В данной формуле представлена зависимость радиуса дуги от хорды L и высоты дуги h . В нашем случае длина хорды – это диаметр цилиндра (D), а высота дуги – это высоты дуг образующей или траектории. В программе создаются новые параметры «Высота образующей» и «Высота траектории».

Далее нашей задачей является параметризация размера от самой нижней кромки параболоида до низа здания, чтобы параметр высоты образующей менялся автоматически в зависимости от заданного параметра высоты здания (рис. 6).

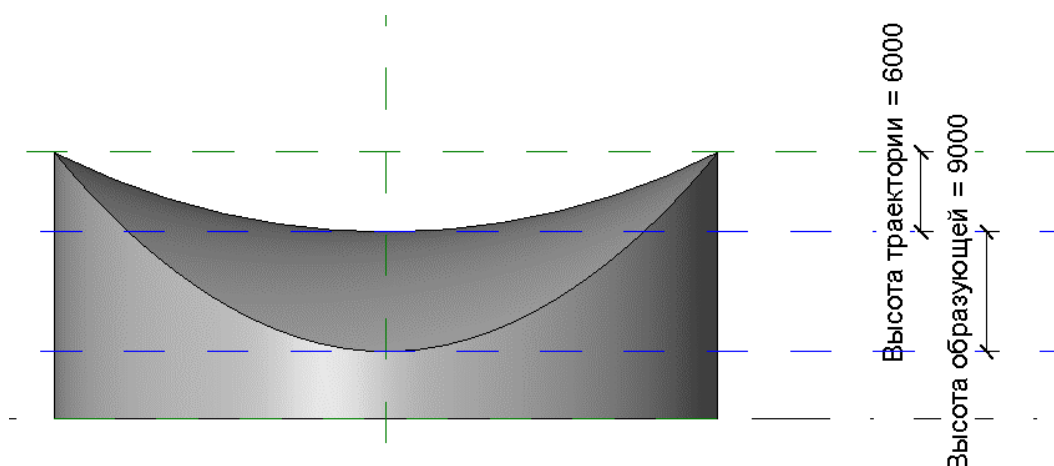


Рис. 6. Параметризация нижней кромки

Итоговая параметризация семейства, имеющего форму цилиндра с покрытием в виде параболического гиперboloида представлена на рис. 7.

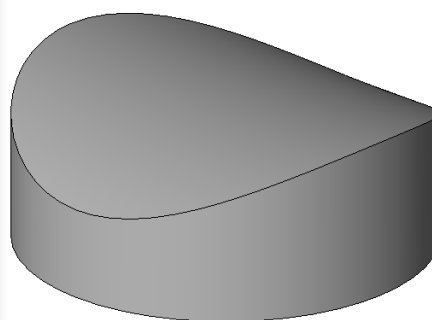
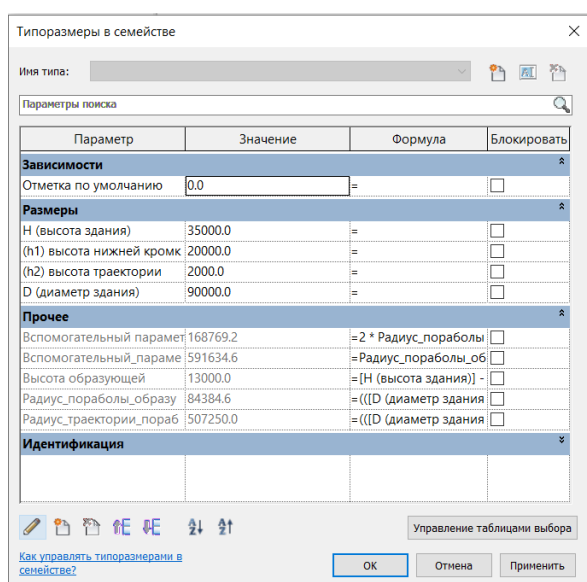


Рис. 7. Итоговая параметризованная модель

Для проверки работы данной параметрической модели был создан целый ряд геометрических форм с последующим импортом в среду *Ansys CFX* с целью анализа различных параметров и оценки влияния формы на жизненный цикл зданий, имеющих в своем исполнении подобную геометрическую конфигурацию.



Были созданы 4 модели со следующими геометрическими параметрами:

- 1) $D = 50,0$ м, $H = 15,0$ м, $h_1 = 1,0$ м, $h_2 = 5,0$ м (рис. 1 цв. вклейки);
- 2) $D = 50,0$ м, $H = 15,0$ м, $h_1 = 1,0$ м, $h_2 = 7,0$ м (рис. 2 цв. вклейки);
- 3) $D = 50,0$ м, $H = 15,0$ м, $h_1 = 9,0$ м, $h_2 = 5,0$ м (рис. 3 цв. вклейки);
- 4) $D = 50,0$ м, $H = 15,0$ м, $h_1 = 0,0$ м, $h_2 = 5,0$ м (рис. 4 цв. вклейки).

Исследование показывает, что создание параметрических моделей значительно увеличивает производительность, когда необходимо создать много моделей со схожими параметрами. В данной статье был рассмотрен порядок создания семейства твердотельной модели, имеющей в своем составе поверхность двоякой кривизны.

По результатам исследований можно наблюдать, что аэродинамические реакции на поверхностях двоякой кривизны крайне чувствительны к даже незначительному изменению формы. Таким образом, совместное решение задач формообразования и геометрической оптимизации, а также аэродинамического взаимодействия является актуальным на ранних стадиях проектирования.

При дальнейшем исследовании данная модель будет использоваться для определения наиболее благоприятных параметров объектов, при котором будет минимальное воздействие атмосферных явлений, а именно ветровой нагрузки с целью увеличения жизненного цикла здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гринько, Е. А. Классификация аналитических поверхностей применительно к параметрической архитектуре и машиностроению / Е. А. Гринько. – Текст : непосредственный // Вестник Российского университета дружбы народов. Инженерные исследования. – 2018. – Том 19. – № 4. – С. 438–456.
2. Мамиева, И. А. Влияние геометрических исследований редких типов поверхностей на создание новых и уникальных сооружений / И. А. Мамиева, А. Ж. Гбагуди. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2019 – № 5 (85). – С. 23–34.
3. Алборова, Л. А., Мамиева И. А. Криволинейные формы в архитектуре зданий и сооружений до XXI века / Л. А. Алборова, И. А. Мамиева. – Текст : непосредственный // Academia. Architecture and Construction. – 2023. – № 3. – С. 154–164 . – DOI: 10.22337/2077-9038-2023-3-154-164.
4. Шилов, С. С. Численное и физическое исследование аэродинамических особенностей поверхностей двоякой кривизны / С. С. Шилов, А. В. Симонов, П. А. Хазов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023 : сборник докладов IV Национальной научной конференции / Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва, 2024. – С. 116-124.
5. Шилов, С. С. Численное моделирование аэродинамики поверхностей двоякой кривизны различных геометрических параметров / С. С. Шилов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1 (65). – С. 81-88.
6. Гоголкина, О. В. Особенности формирования конструкций в параметрической архитектуре / О. В. Гоголкина. – Текст : непосредственный // Архитектура и современные информационные технологии. – 2018. – № 1 (42). – С. 355–363.
7. Геворкян, Т. А. Эстетика виртуальной цифровой архитектуры / Т. А. Геворкян, Б. Л. Валкин. – Текст : непосредственный // Архитектура и современные



информационные технологии. – 2020. – № 2 (51). – С. 362–372. – DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15120.

8. Файзрахманов, М. Р. Современные цифровые технологии в проектировании объектов архитектурной среды / М. Р. Файзрахманов. – Текст : непосредственный // Месмахеровские чтения – 2016 : сборник научных статей международной научно-практической конференции / Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 113–117.

9. Волкова, Е. М. Информационное и программное обеспечение архитектурно-строительной деятельности : учебное пособие / Е. М. Волкова ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2020. – 81 с. – URL: ISBN 978-5-528-00383-2. – Текст : электронный.

10. Фарафонов, А. Э. Информационное моделирование зданий / А. Э. Фарафонов, Л. Ю. Толстикова, Н. В. Безверхая ; Дальневосточный федеральный университет. Инженерная школа. – Владивосток : ДВФУ, 2020. – 64 с. – ISBN 978-5-7444-4629-1. – Текст : непосредственный.

11. Толстов, Е. В. Информационные технологии в REVIT. Базовый уровень : учебно-методическое пособие / Толстов Е. В. ; Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань : КазГАСУ, 2015 – 91 с. – ISBN 978-5-7829-0478-4. – Текст : непосредственный.

12. Новкович, Н. Руководство по созданию семейств Autodesk Revit / Н. Новкович, Д. Чубрик, С. Бенклян. – Москва : [б. и.], 2017. – 45 с. – Текст : непосредственный.

13. Техника создания семейств в Revit. – URL: <https://infars.ru/blog/tehnika-sozdaniya-semeystv-v-revit/?ysclid=ly1p6lb411853689065>. – Текст : электронный.

SHILOV Sergey Sergeevich, postgraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; FEDOROV Andrey Valeryevich, master degree student at chair of theory of structures and technical mechanics; MOLEVA Alina Aleksandrovna, student

PARAMETRIC MODELING AS A WAY TO INCREASE THE LIFE CYCLE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 961-631-06-81;
+7 987-692-02-68; e-mail: sergey.shilov.1997@mail.ru, kashkina_ekaterina_s@mail.ru.
Key words: parametric model, doubly curvature surface, hyperbolic paraboloid, wind load.

Various geometric shapes used to form an expressive architectural appearance of buildings and structures are described. A method for constructing such a surface of double curvature as a hyperbolic paraboloid is described. At the initial stage of design, the main role is played by geometric optimization of the building shape and assessment of its ability to influence the stress-strain state of the entire object from the effects of atmospheric phenomena, in particular from the effects of wind currents. The order of parameterization of the characteristic geometric dimensions of the surface under study is described. The final parameters and their interrelation are given, which make it possible to obtain many geometric shapes of the same configuration. In conclusion, an example of using parametric modeling to increase the life cycle of a building is given.



REFERENCES

1. Grinko E. A. Klassifikatsiya analiticheskikh poverkhnostey primenitelno k parametriceskoy arkhitekture i mashinostroyeniyu [Classification of analytical surfaces as applied to parametric architecture and mechanical engineering] / Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Inzhenernyye issledovaniya [RUDN Journal of Engineering Research]. 2018 Vol. 19. № 4. P. 438–456.
2. Mamiyeva I. A., Gbaguidi A. Zh. Vliyaniye geometricheskikh issledovaniy redkikh tipov poverkhnostey na sozdaniye novykh i unikalnykh sooruzheniy [Influence of geometric studies of rare surface types on the creation of new and unique structures] / Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. 2019, №5 (85). P. 23–34.
3. Alborova L. A., Mamiyeva I. A. Krivolineynnye formy v arkhitekture zdaniy i sooruzheniy do XXI veka [Curvilinear forms in the architecture of buildings and structures up to the XXI century] / Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and construction]. 2023. № 3. P. 154–164. – DOI: 10.22337/2077-9038-2023-3-154-164.
4. Shilov S. S., Simonov A. V., Khazov P. A. Chislennoye i fizicheskoye issledovaniye aerodinamicheskikh osobennostey poverkhnostey dvoyakoy krivizny [Numerical and physical study of aerodynamic features of surfaces of double curvature] / Aktualnyye problemy stroitelnoy otrasli i obrazovaniya – 2023 [Actual problems of the construction industry and education – 2023]. Sbornik dokl. IV Natsional. nauch. konf., Moskovskiy gos. stroit. un-t Moscow. 2024. P. 116–124.
5. Shilov S. S. Chislennoye modelirovaniye aerodinamiki poverkhnostey dvoyakoy krivizny razlichnykh geometricheskikh parametrov [Numerical modelling of aerodynamics of surfaces of double curvature of different geometrical parameters] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.- stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2023. – № 1 (65). – P. 81–88.
6. Gogolkina O. V. Osobennosti formirovaniya konstruksiy v parametriceskoy arkhitekture [Peculiarities of formation of constructions in parametric architecture] / Arkhitektura i sovremennyye informatsionnyye tekhnologii [Architecture and modern information technologies]. 2018. № 1(42). P. 355–363.
7. Gevorkyan T. A., Valkin B. L. Estetika virtu.alnoy tsifrovoy arkhitektury [The aesthetics of virtual digital architecture] / Arkhitektura i sovremennyye informatsionnyye tekhnologii [Architecture and modern information technologies]. 2020. № 2(51). P. 362–372. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15120.
8. Fayzrakhmanov M. R. Sovremennyye tsifrovyye tekhnologii v proyektirovanii obyektov arkhitekturnoy sredy [Modern digital technologies in the design of architectural environment objects] / Mesmakherovskiye chteniya – 2016: sbor. nauch. st. Mezhdunarod. nauchno-praktich. konf., Sankt-Peterburg. gos. khudozh.-promysh.akadem. im. A. L. Shtiglitsa, Saint-Petersburg. 2016. P. 113–117.
9. Volkova E. M. Informatsionnoye i programmnoye obespecheniye arkhitekturno - stroitelnoy deyatelnosti [Information and software support for architectural and construction activities]: ucheb. posobiye. Nizhegor. gos. arkhitektur-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod: NNGASU. 2020. – 81 p. ISBN 978-5-528-00383-2.
10. Farafonov A. E., Tolstikova L. Yu., Bezverkhaya N. V. Informatsionnoye modelirovaniye zdaniy [Building Information Modelling] / Inzhenernaya shkola [Engineering School]. Vladivostok: Dalnevost. federal. un-t. 2020. – 64 p.
11. Tolstov E. V. Informatsionnyye tekhnologii v REVIT. Bazovyy uroven [Information Technology in REVITs. Basic level]: uchebno-metod. posobiye. Kazan: Izd-vo Kazansk. gos. arkhitekt.-stroit. un-ta. 2015 – 91 p.
12. Novkovich N., Chubrik. D., Benklyan S. Rukovodstvo po sozdaniyu semeystv Autodesk Revit [Guide to Creating Autodesk Revit Families]. Moscow. 2017. – 45 p.



13. Tekhnika sozdaniya semeystv v Revit [The technique of creating families in Revit]. – URL: <https://infars.ru/blog/tehnika-sozdaniya-semeystv-v-revit/?ysclid=ly1p6lb411853689065>.

© **Шилов С. С., Федоров А. В., Молева А. А., 2024**
Получено: 15.07.2024 г.