



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.175 : 693.632 : 004.9

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-1-43-55

Снижение материалоемкости изготовления лепного декора с применением информационных технологий

С.В. Федосов, Е.С. Шабанов, А.А. Титунин

Сергей Викторович Федосов¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Российская Федерация

fedosov-academic53@mail.ru

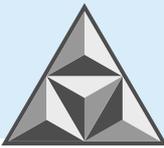
Евгений Сергеевич Шабанов², Андрей Александрович Титунин^{2,3,*}

²Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Российская Федерация

onegin181181@gmail.com

³Костромской государственный университет, Кострома, Российская Федерация

*a_titunin@ksgos.ru**



Использование современных аддитивных технологий за счет автоматизации процесса создания форм и изготовления элементов лепного декора позволяет снизить материальные издержки на проведение строительных работ. Однако задача минимизации расхода строительного материала при этом в полной мере не решается. Описана попытка усовершенствовать методы создания форм с помощью параметрического моделирования, фотограмметрии и 3D-печати. Дана классификация и предложен перечень наиболее часто встречающихся элементов лепного декора. Рассмотрены алгоритмы и особенности разработки скриптов для получения цифровых моделей основных видов форм. Для создания эластичных форм сложной конфигурации предложено использовать сферические объекты – метаболлы. На основе параметрических алгоритмов получен результат в виде полигональных моделей, готовых для 3D-печати. Предложенный метод создания форм позволяет более точно прогнозировать расход строительных материалов и существенно облегчает труд исполнителей работ.

Ключевые слова: лепной декор, снижение материалоемкости, аддитивные технологии, 3D-печать, параметрическое моделирование, метаболлы, фотограмметрия

Для цитирования:

Федосов С.В., Шабанов Е.С., Титунин А.А. Снижение материалоемкости изготовления лепного декора с применением информационных технологий // *Умные композиты в строительстве*. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 43-55. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/7081/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-1-43-55



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-1-43-55

Reducing the material consumption of stucco decorations based on information technology

S.V. Fedosov, E.S. Shabanov, A.A. Titunin

Sergey Viktorovich Fedosov¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

fedosov-academic53@mail.ru

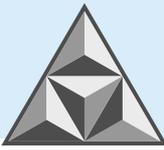
Evgeniy Sergeevich Shabanov², Andrey Aleksandrovich Titunin^{2,3,*}

²Kostroma State Agricultural Academy, Russian Federation

onegin181181@gmail.com

³Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation

*a_titunin@ksgos.ru**



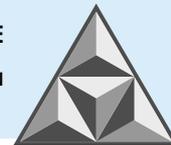
The use of modern additive technologies through the automation of the process of creating moulds and manufacturing moulded decorative elements allows for a reduction in material costs for construction work. However, the task of minimising the consumption of building materials is not fully solved. The paper describes an attempt to improve mould creation methods using parametric modelling, photogrammetry, and 3D printing. The authors provide a classification and list of the most common stucco decoration elements. The paper discusses algorithms and features of script development for obtaining digital models of basic types of moulds. To create flexible forms of complex configuration, the authors suggest using spherical objects – metaballs. Based on parametric algorithms, the result is obtained in the form of polygonal models ready for 3D printing. The proposed method of creating forms allows for more accurate prediction of the consumption of building materials and significantly facilitates the work of contractors.

Keywords: stucco decor, reduction of material consumption, additive technologies, 3D printing, parametric modeling, metaballs, photogrammetry

For citation:

Fedosov S.V., Shabanov E.S., Titunin A.A. Reducing the material consumption of stucco decorations based on information technology // *Smart composites in construction*. 2026. Vol. 7, Iss. 2. P. 43-55.
URL: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/7081/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-1-43-55



ВВЕДЕНИЕ

Особенностью современного этапа развития строительного комплекса является широкое использование цифровых технологий на всех этапах проектирования, возведения и реставрации зданий. Эти технологии во многом обеспечивают повышение эффективности процессов изготовления строительных материалов, деталей и конструкций, а также позволяют улучшить их качество. Общеизвестно, что в настоящее время без применения информационных технологий практически невозможно на должном уровне выполнить теплотехнические расчеты, определить оптимальный вариант технологических решений в области строительного производства [1]. Аддитивные технологии являются одним из удачных примеров реализации принципов послойного изготовления изделий по трехмерным моделям, разработанным с помощью специализированных программ. В связи с ростом инвестиций технология 3D-печати была реализована в 90-х гг. XX столетия в различных отраслях. Объем капиталовложений за четыре года (с 1992 по 1996 г.) вырос на 1200 % и достиг 421 млн долл. К концу 2000 г. количество выпущенных 3D-принтеров составило 1320 шт., при этом около 45% было изготовлено в Северной Америке, а 28.6 и 24.6% – соответственно в Азии (Тихоокеанский регион) и Европе [2-4]. Использование 3D-печати позволяет изготовить элементы особо сложной формы, а также в связке с 3D-сканированием или фотограмметрией повторить существующие элементы, которые нуждаются в ремонте или замене [5]. Особое значение эта технология имеет при строительстве и ремонте изысканно декорированных общественных зданий, таких как музеи, театры, муниципальные учреждения. Лучшие образцы современных многоквартирных жилых домов также могут служить объектом для применения данной технологии. Специалисты отмечают, что успешная реализация проектов не только в новом строительстве, но и при реставрации зданий во многом зависит как от качества используемых материалов, так и от применения современных технологий [6, 7].

В области создания лепных декоративных элементов 3D-печать, как правило, ранее использовали для создания уникальных единичных изделий, поэтому с ее помощью формировали только модели-прототипы [2]. Однако в случаях, когда требуется создание большого количества повторяющихся элементов, становится возможным осуществлять печать не модели, а непосредственно формы. При этом за счет автоматизации процесса снижаются издержки на проведение строительных и ремонтных работ [8].

При массовом производстве деталей со сложной геометрической формой, создании высокохудожественных архитектурных элементов и реализации уникальных проектов 3D-печать открывает новые возможности. Поэтому не случайно многие специалисты сошлись во мнении, что технология 3D-печати стала одним из инновационных методов производства элементов и деталей зданий из доступных строительных материалов [9-12].

Рассматривая преимущества аддитивных технологий, можно отметить, что 3D-печать является эффективным инструментом при создании форм для серийных деталей [13]. Однако осталась не вполне решенной задача снижения суммарных затрат на изготовление декоративных элементов зданий и самих форм для отливки. Возможным вариантом является сокращение временных затрат на создание цифровой модели формы и минимизация расхода материала при 3D-печати форм за счет определения оптимальной толщины слоев.

Цель настоящего исследования заключается в усовершенствовании метода создания форм с помощью аддитивных технологий на примере элементов лепного декора, так как именно на них распределяется значительный объем строительных материалов и времени. Принятая классификация по типу, с учетом степени сложности кусковых и черновых форм для отливки изделий, приведена на рис. 1.

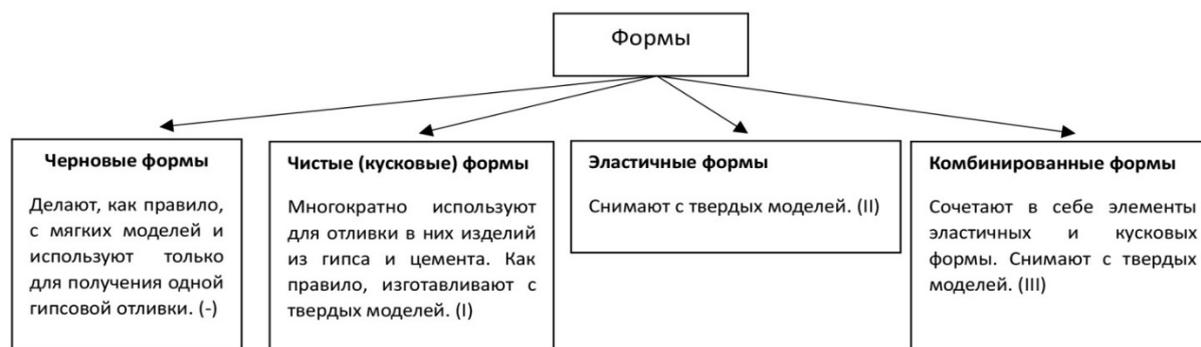


Рис. 1. Классификация форм по типу

Fig. 1. Classification of forms by type

Она включает:

- *простые формы* – состоят из одной части (раковины); снимают с плоских моделей;
- *формы средней сложности* – состоят из нескольких частей (раковин); их снимают с объемных гладких моделей;
- *формы высокой сложности* – состоят из нескольких отъемных и отдельно оформленных частей (раковин) с большим числом кусков; такие формы снимают с орнаментированных моделей.

Классификация эластичных форм:

- *открытые* – предполагают изготовление барьера по периметру формы;
- *закрытые* – предполагают изготовление закрытой формы, покрывающей модель.

Изготовление черновых форм путем 3D-печати не имеет смысла, так как они создаются с мягких моделей; данный тип исключается из последующего процесса автоматизации алгоритмов. Гипотеза исследований заключается в том, что некоторые из этапов создания форм могут быть заменены или усовершенствованы путем применения средств 3D-печати и компьютерного моделирования. Этап обмеров и оценки повреждений для последующего ремонта элемента может быть заменен этапом создания цифровой 3D-модели с помощью фотограмметрии или лазерного сканирования, этап работы с цифровой моделью может быть автоматизирован с помощью скриптов 3D-редакторов, а последний этап (3D-печать) существенно экономит ресурсы на создание форм вручную. Второй этап (подбор и создание формы по цифровой копии модели, полученной в результате сканирования на объекте) в дальнейшем рассматривается более подробно.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для подготовки параметрических алгоритмов необходимо собрать и классифицировать базу 3D-моделей элементов лепного декора. Чтобы определить лепные элементы в выборке, принято решение составить список с помощью таблиц федеральных единичных расценок на строительные и специальные строительные работы ФЕРр-81-02-64-2001 [14]. Здесь содержится совокупность показателей строительных ресурсов (материалов, изделий и конструкций, затрат труда рабочих в строительстве, времени эксплуатации машин и механизмов), установленных на принятый измеритель. Согласно [14], составлен следующий перечень декоративных элементов: 1. Балясина; 2. Ваза; 3. Розетка; 4. Герб; 5. Фриз; 6. Гирлянда; 7. Эмблема; 8. Капитель; 9. Картуш; 10. Кронштейн; 11. Маскарон; 12. Модульон (см. рис. 2).

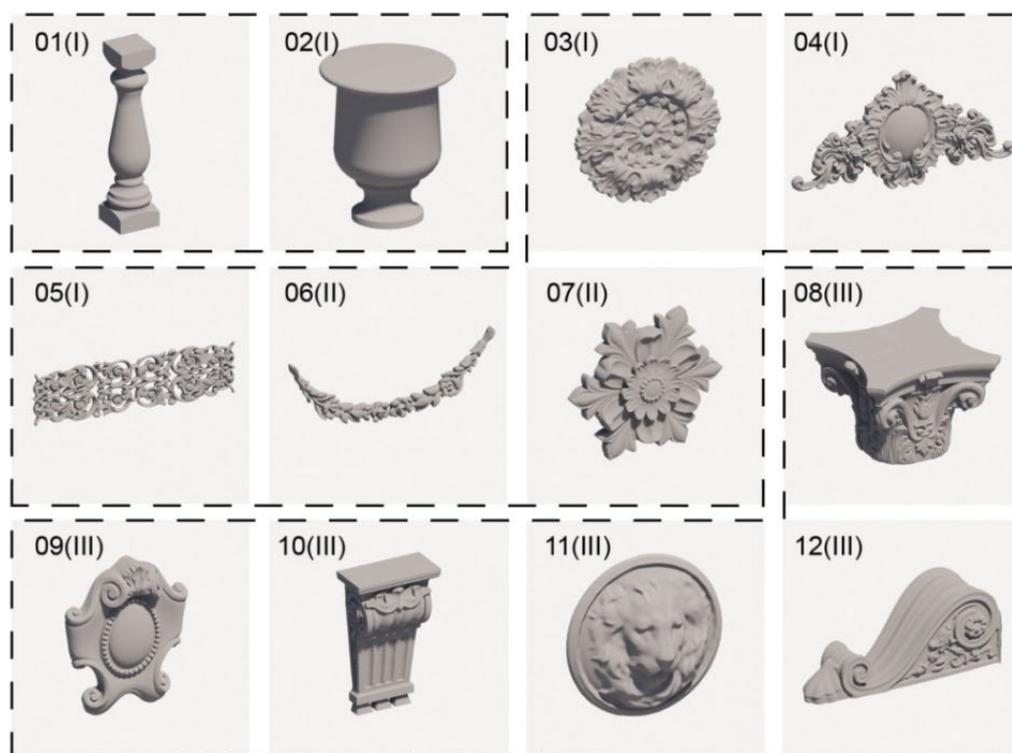


Рис. 2. Полигональные модели лепных элементов

Fig. 2. Polygonal models of molded elements

Далее путем фотограмметрии были получены 12 цифровых моделей объектов из представленного перечня. Каждую из полигональных моделей строили по облаку точек в программе *Reality Capture* из 50 фотоснимков и импортировали в 3D-редактор в формате *FBX*.

Одним из важных моментов для подготовки параметрических алгоритмов является выбор 3D-редактора для решения поставленной задачи [15, 16]. Для каждого из трех типов форм (кусковые – *I*, эластичные – *II*, комбинированные – *III*) разработали варианты алгоритмов, а затем протестировали их работу на представленных цифровых моделях лепного декора. Для решения этих задач использовали язык визуального программирования *Grasshopper*, который работает в рамках приложения *Rhinoceros 3D* для автоматизированного проектирования (*CAD*) [15,16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Так как различные виды декора требуют неодинаковых подходов к созданию форм, нами выделены три основных вида форм, для которых производили разработку скриптов. Первый вид – кусковые формы. Как правило, кусковые формы производятся для тел вращения или же объемных объектов с несколькими осями симметрии (симметричными в нескольких направлениях). У таких элементов все три габаритных размера (длина, ширина, высота) соизмеримы, что позволяет удачно разместить элемент на печатном столе 3D-принтера. Основной принцип работы скрипта (*I*) заключается в том, что исходная геометрия модели (*mesh A*, рис. 3) разделяется секущими плоскостями (*plane*) по всей высоте объекта, количество и шаг плоскостей регулируется с помощью числовых параметров (*number*). Далее в сечении объекта на каждой отдельной плоскости получают кривую (*curve A*), которую смещают относительно текущей геометрии в сторону от объекта.

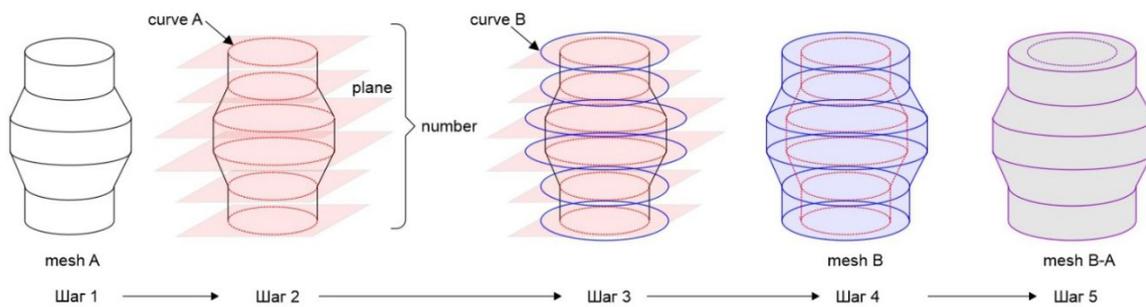
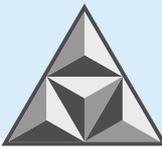


Рис. 3. Схема формообразования скрипта для создания кусковых форм (I)

Fig. 3. Schematic diagram of the script for creating piece forms (I)

Вновь получившиеся кривые (curve B) объединяют между собой в единую сетку с помощью выдавливания, и уже из заново построенной геометрии (mesh B) вычитают геометрию самой модели (mesh A). В результате расчета получают пустотелый кожух с заданной минимальной толщиной стенки (mesh B-A), регулируемым количеством плоскостей и их шагом.

В общем виде в редакторе *Grasshopper* скрипт представлен на рис. 4.

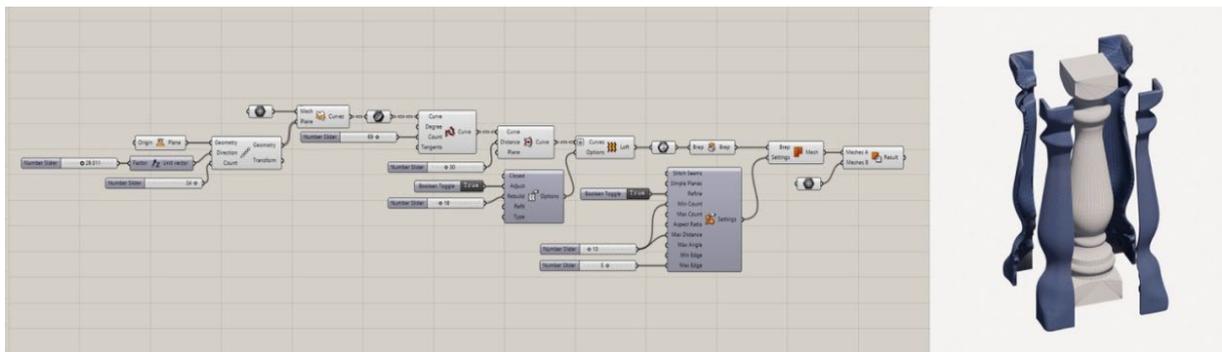
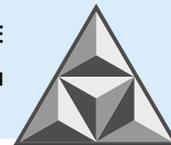


Рис. 4. Скрипт (I) в редакторе *Grasshopper* и итоговый результат моделирования

Fig. 4. Script (I) in *Grasshopper* and the final result of simulation

Далее получившуюся форму разделяют на необходимое количество частей и отправляют на печать. Алгоритм предусматривает снятие формы только с моделей, имеющих простую поверхность, то есть без западающих и нависающих частей. Сдвиг кривой по периметру сечения с западающей геометрией может привести к коллизии, сбоям в печати и невозможности съема формы с отливки, что приведет к образованию брака и удорожанию процесса изготовления лепных деталей.

Для работы со сложными сечениями, а также создания эластичных форм применяют скрипт (II). Для обеспечения эластичности требуется наличие ограждающего модель борта, который позволит создать данную форму с наименьшими потерями материала. Чтобы подробно разобрать работу скрипта (II), необходимо познакомиться с понятием *метаболов* (*метасфер*). Метаболл – n -мерный объект в компьютерной графике, представляющий собой замкнутую гладкую поверхность. Принцип работы метаболов заключается в том, что в пространстве задают множество управляющих точек или частиц, обладающих потенциалом, и функции зависимости потенциала от расстояния. Зная потенциал поля, можно построить гладкие изоповерхности сложной формы. Каждый метаболл определяется как функция в n измерениях; например, для трех измерений – это $f(x, y, z)$. Также выбирается пороговое значение для определения сплошного объема. Затем в определенной точке проверяют,



заполнен ли объем, заключенный в поверхность, образованную метаболлами [17]. Другими словами, метаболлы – это сферические объекты, которые при приближении друг к другу образуют общую гладкую поверхность. При генерации таких сфер по периметру модели объекта их общая поверхность сможет нивелировать западающие части и сложную текстуру, не создавая коллизий. Поэтому основная идея работы скрипта (II) строится на применении 2D-метаболлов: сначала упрощают исходную геометрию, чтобы понизить количество точек сечения модели (mesh A, рис. 5).

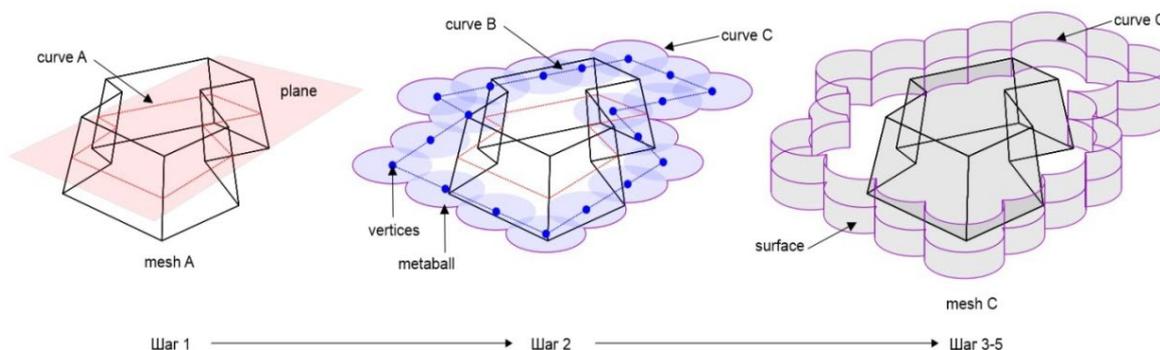


Рис. 5. Схема формообразования скрипта для создания эластичных форм (II)

Fig. 5. Schematic diagram of the script for creating elastic forms (II)

Первым шагом создается плоскость сечения (plane), которая при пересечении с объектом дает кривую (curve A). Вторым шагом кривая смещается от объекта, образуя новую кривую (curve B), и разбивается на точки (vertices), которые становятся центрами метаболлов (metaball). В последующих шагах общий контур метаболлов дублируется со смещением, чтобы образовать толщину стенки формы. Из двух кривых путем выдавливания создаются поверхности (surface). После взаимного вычитания получают ломаный объем борта формы (mesh C) с регулируемым положением сечения, отступом от модели, толщиной и высотой стенки.

Скрипт (II) в среде редактора *Grasshopper* и результат моделирования представлен на рис. 6.

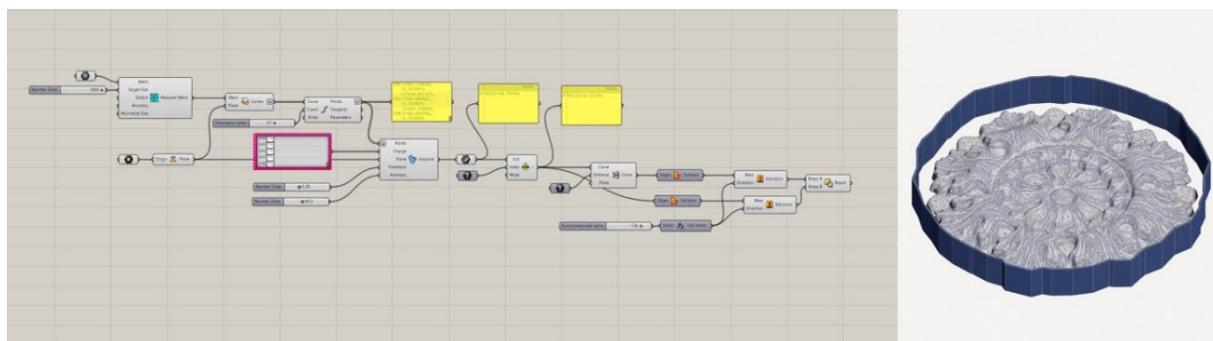
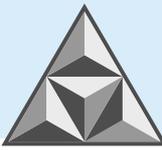


Рис. 6. Скрипт (II) в редакторе *Grasshopper* и итоговый результат моделирования

Fig. 6. Script (II) in *Grasshopper* and the final result of simulation

Комбинированные формы представляют собой наружный жесткий кожух с литниками и эластичную внутреннюю часть формы из силикона или другого клеевого раствора. Для создания наружной части вновь используют функции метаболлов. Геометрия исходной модели (mesh A) разделяется на составные части. Каждый вертекс (vertices) становится центром размещения 3D-метаболла; при этом, сливаясь вместе, они образуют новую единую



поверхность (surface). Для удобства печати она сглаживается, нижняя часть пересечения со столом (plane) удаляется, а затем ей придается толщина путем смещения полигональной сетки (рис. 7).

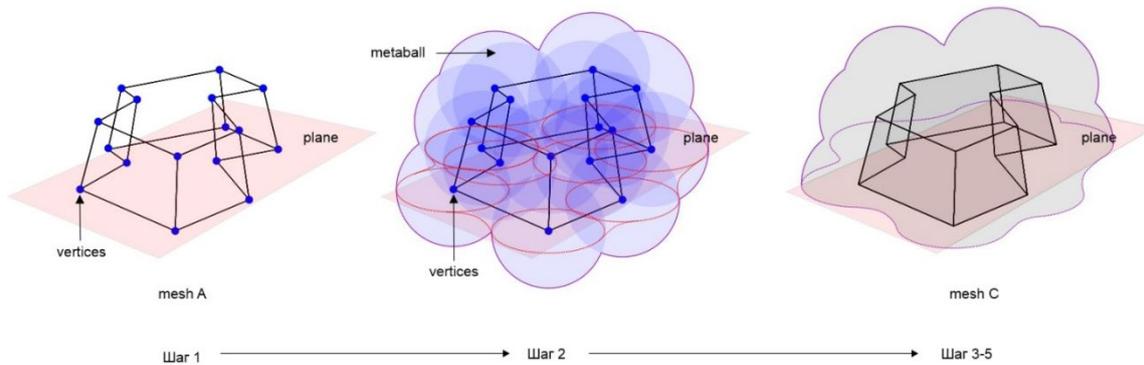


Рис. 7. Схема формообразования скрипта для создания комбинированных форм (III)

Fig. 7. Scheme of script formation for creating combined forms (III)

Так получается единая куполообразная форма (mesh C), полностью закрывающая исходный объект (mesh A). Далее следует подготовка к печати, установка литника и разделение формы на необходимое количество частей для удобного извлечения отливок. Данный скрипт (см. рис. 8) также обладает настраиваемыми параметрами толщины стенки и расстояния от модели до кожуха.

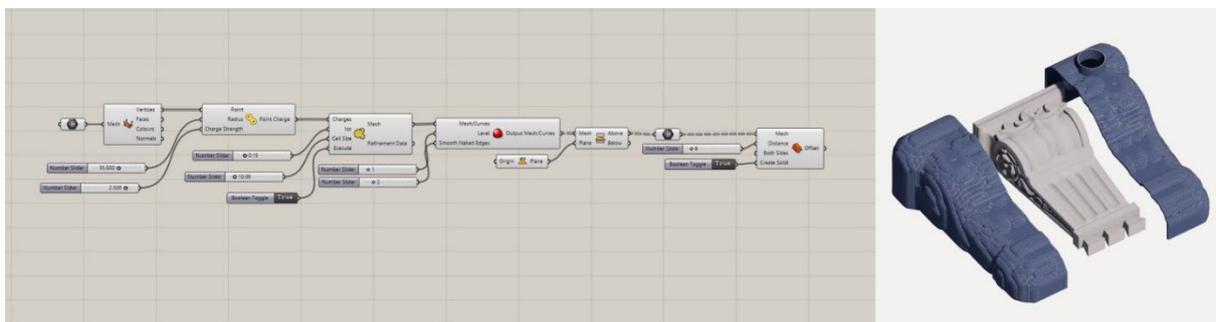


Рис. 8. Скрипт (III) в редакторе *Grasshopper* и итоговый результат моделирования

Fig. 8. Script (III) in *Grasshopper* and the final result of simulation

На следующем этапе необходимо создать свою форму для каждой модели полигональных объектов, а также визуально проверить возможность осуществления последующей 3D-печати. Каждый из двенадцати объектов (рис. 2) был загружен в *Rhinoceros Grasshopper*, классифицирован по типу и обработан соответствующим типом скрипта. В моделях 01-03 использовался скрипт (I) для кусковых форм, в моделях 03-07 – скрипт (II) для эластичных форм, а в моделях 08-12 – скрипт (III) для комбинированных форм. В результате получены 12 форм, которые также были собраны в модуль с порядковыми номерами, соответствующими исходной модели (рис. 9).

Параметры формы допускается изменять и дорабатывать в самом процессе, то есть для удобства 3D-печати имеется возможность варьирования вариантов. По итогам проведенного эксперимента нами выявлено, что автоматически почти для всего многообразия лепного декора может быть создана форма, которая впоследствии будет отправлена на 3D-печать. Таким образом, методы параметрического моделирования довольно успешно применяются при совершенствовании процессов, связанных с изготовлением форм.

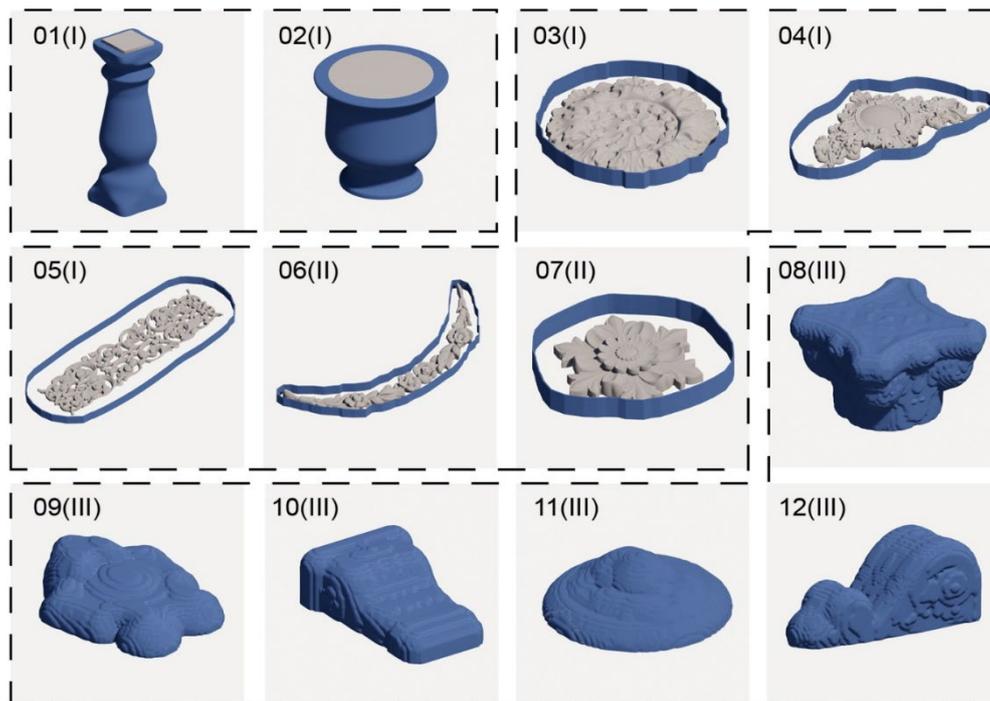
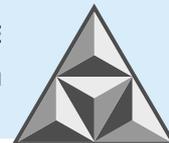


Рис. 9. Вид полигональных моделей форм для лепных элементов, полученных в результате работы скриптов I, II и III

Fig. 9. Renders of mold polygonal models obtained as a result of running scripts I, II, and III

При всем многообразии элементов они позволяют найти способ автоматизировать поиск оптимального решения для получения качественного изделия лепного декора при минимальном расходе строительного материала.

ВЫВОДЫ

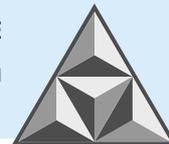
Скрипты справились с задачей: для двенадцати типовых моделей автоматически создана форма, практически не требующая участия человека и готовая к 3D-печати, что минимизирует временные и материальные затраты на изготовление лепных элементов декора жилых и общественных зданий. Работа с моделями в цифровом пространстве помогает упростить работу по докомпоновке фрагментов. Частичная автоматизация с помощью параметрических алгоритмов позволяет точно прогнозировать расход материалов при создании форм и моделей, а также существенно облегчает работу исполнителей.

Применение информационных технологий при работе в 3D-редакторах также дает возможность оценить извлечение отливок из формы и заранее прогнозировать результат работ. Кроме этого, хранение цифровых копий моделей и форм позволит изготовить утраченные элементы лепного декора, что имеет огромную ценность при проведении реставрационных работ.

Массовое производство деталей с помощью 3D-печатных форм в перспективе обогатит массовую архитектуру общественных зданий и многоквартирных жилых домов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Зайцева И.А.** Особенности использования отечественного и зарубежного инструментария имитационного моделирования строительных конструкций зданий

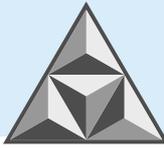


- и сооружений // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4. Вып. 2. С. 18-31. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5046/view> (дата обращения 20.12.2025).
2. **Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Т.К.** Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. №. 7 (118). С. 863-876.
 3. Rapid prototyping report // *Business New*. 1997. Vol. 008. No. 2. URL: <http://www.cadcamnet.com> (дата обращения 20.12.2025).
 4. **Kim D.M.** Contour crafting: a future method of building. 2013. URL: <http://illuminate.usc.edu/assets/submissions/755/Contour20Crafting20revision.pdf> (дата обращения 20.12.2025).
 5. **Парфенов В.А.** Лазерное 3D-сканирование в оцифровке, реконструкции и копировании скульптурных памятников // *Историческая информатика*. 2023. № 1 (43). С. 114-124.
 6. **Perevozchikova S.V., Belov V.V.** Dry mix mortar for restoration of buildings // *Smart Composite in Construction*. 2021. Vol. 2. No. 1. P. 14-19. DOI 10.52957/27821919_2021_1_14.
 7. **Гасанов П.Г., Смирнов Ю.В., Чусов А.Н., Политаева Н.А.** Мониторинг аварийности фасадов зданий с применением технологий 3D-сканирования (на примере Санкт-Петербурга) // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 3. С. 84-94. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5047/view>. DOI: 10.52957/2782-1919-2024-4-3-84-94
 8. **Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С.** 3D-аддитивные технологии в сфере строительства // *Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства*. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. С. 157-167.
 9. Будущее строительства и стройматериалов: тренды 2025 года // Фонд Росконгресс: сайт. URL: <https://roscongress.org/> (дата обращения 20.12.2025).
 10. **Адамцевич А.О., Пустовгар А.П., Адамцевич Л.А., Крамеров Д.В., Воробьев Р.Ю.** Исследование особенностей работы бетонных конструкций, изготовленных с применением технологии аддитивного строительного производства // *Строительные материалы*. 2023. № 12. С. 38-46. DOI 10.31659/0585-430X-2023-820-12-38-46.
 11. **Амирханян Т.А., Иевлева О.Т.** Аддитивные технологии в архитектуре: новые горизонты // *Инженерный вестник Дона*. 2024. № 9 (117). С. 98-111.
 12. **Алексанин А.В., Маркевич А.И.** Использование аддитивных технологий при возведении зданий // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 6. С. 62-65. DOI 10.12737/article_5926a0596fbac2.77621545.
 13. **Пухаренко Ю.В., Шангина Н.Н., Харитонов А.М., Сизов Д.С.** Проблемы и перспективы развития информационного моделирования для реставрации объектов культурного наследия // *Academia. Архитектура и строительство*. 2024. № 3. С. 171-175. DOI 10.22337/2077-9038-2024-3-171-175.
 14. Федеральные единичные расценки на ремонтно-строительные работы. ФЕРр 81-02-64-2001. Сборник 64. Лепные работы (приложение № 113 к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 26 декабря 2019 г. N 876/пр). URL: <https://base.garant.ru/73453011/> (дата обращения 20.12.2025).
 15. **Стерликова А.А., Булгаков П.А.** Применение информационных технологий в строительстве // *Современная наука: актуальные вопросы и перспективы развития*. София, Болгария: Науч.-изд. центр "Мир науки". 2017. С. 153-158.
 16. **Свирская Т.А.** Пути использования компьютерных технологий при реставрации памятников архитектуры // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки*. 2007. № 12. С. 17-24.
 17. **Zhang P.** Metaball based discrete element method for general shaped particles with round features // *Computational Mechanics*. 2021. Vol. 67. No. 4. P. 1243-1254.

Поступила в редакцию 12.01.2026

Одобрена после рецензирования 06.02.2026

Принята к опубликованию 05.03.2026



REFERENCES

1. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Zaitsev, I.S. and Zaitseva, I.A.** (2023), Features of domestic and foreign simulation tools use for structural modeling of civil engineering buildings and constructions, *Umnye kompozity v stroitel'stve [Smart Composite in Construction]*, vol. 4, no. 2, pp. 18-31 (in Russian). Available at: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/5046/view> (accessed 20.12.2025).
2. **Inozemtcev, A.S., Korolev, E.V. and Duong, Thanh Qui** (2018), Analysis of existing technological solutions of 3D-printing in construction, *Vestnik MGSU*, vol. 13, no. 7 (118), pp. 863-876 (in Russian). DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-876.
3. Rapid prototyping report, *Business New*, 1997, vol. 008, no. 2 [online]. Available at: <http://www.cadcamnet.com> (accessed 20.12.2025).
4. **Kim, D.M.** (2013), Contour crafting: a future method of building. Available at: <http://illuminate.usc.edu/assets/submissions/755/Contour20Crafting20revision.pdf> (accessed 20.12.2025).
5. **Parfenov, V.A.** (2023), Laser 3D scanning in digitization, reconstruction and copying of sculptural monuments, *Historical informatics*, vol. 1, no. 43, pp. 114-124 (in Russian).
6. **Perevozchikova, S.V. and Belov, V.V.** (2021), Dry mix mortar for restoration of buildings, *Umnye kompozity v stroitel'stve [Smart Composite in Construction]*, vol. 2, no. 1, pp. 14-19. DOI 10.52957/27821919_2021_1_14.
7. **Gasarov, P.G., Smirnov, Yu.V., Chusov, A.N. and Politaeva, N.A.** (2023), Monitoring of the facades of buildings accident rate in St. Petersburg using 3D scanning technologies, *Umnye kompozity v stroitel'stve [Smart Composite in Construction]*, vol. 4, no. 3, pp. 84-94 (in Russian) [online]. Available at: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/5047/view> (accessed 20.12.2025).
8. **Lesovik, V.S., Chernysheva, N.V. and Glagolev, E.S.** 3D additive technologies in construction, *Intelligent building composites for green construction*, Belgorod: Publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov: 2016, pp. 157-167 (in Russian).
9. The Future of Construction and Building Materials: Trends for 2025, Roscongress Foundation: website [online]. Available at: <https://roscongress.org/> (accessed 20.12.2025).
10. **Adamtsevich, A.O., Pustovgar, A.P., Adamtsevich, L.A., Kramerov, D.V. and Vorobiev, P.Yu.** (2023), Investigation of the working features of concrete structures manufactured using technologies of additive building manufacturing, *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*, no. 12, pp. 38-46 (in Russian). DOI 10.31659/0585-430X-2023-820-12-38-46.
11. **Amirkhanian, T.A.1 and Ievleva, O.T.** (2024), Additive technologies in architecture: New horizons, *Inzhenernyj vestnik Dona*, vol. 9, no. 117, pp. 98-111 (in Russian).
12. **Aleksanin, A.V. and Markevich, A.I.** (2017), The use of additive technologies in the construction of buildings, *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, no. 6, pp. 62-65 (in Russian). DOI 10.12737/article_5926a0596bac2.77621545.
13. **Pukharensko, Yu.V. Shangina, N.N., Kharitonov, A.M. and Sizov, D.S.** (2024), Problems and prospects for the development of information modeling for the restoration of cultural heritage sites, *Academia. Architecture and Construction*, no. 3, pp. 171-175 (in Russian). DOI 10.22337/2077-9038-2024-3-171-175.
14. Federal unit prices for repair and construction work. Collection 64. FERr-2001-64: prices for electrical installation work / Ministry of Construction of the Russian Federation. M.: Profizdat, 2001. (Federal unit prices for repair and construction work) [online]. Available at: <https://base.garant.ru/73453011> (accessed 20.12.2025).
15. **Sterlikova, A.A. and Bulgakov, P.A.** (2017), Application of information technologies in construction, *Modern sci.: current issues and development prospects*, pp. 153-158.
16. **Svirskaya, T.A.** (2007), Ways of using computer technologies in the restoration of architectural monuments. *Bul. Polotsk State Univer. Ser. F. Construction. Appl. Sci.*, no. 12, pp. 17-24 (in Russian).
17. **Zhang, P.** (2021), Metaball based discrete element method for general shaped particles with round features, *Computational Mechanics*, vol. 67, no. 4, pp. 1243-1254.

Received 12.01.2026

Approved 06.02.2026

Accepted 05.03.2026