

DOI 10.24411/9999-001A-2020-10048
УДК: 726.5.012.28

А.В. Наволоцкая
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
ул. Ленинградская, д. 113, Новосибирск, Россия, 630008
sibvernissage@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5469-6897>

К.В. Ермакова
Флоренция, Италия

Массимо Риччи — исследователь творчества Филиппо Брунеллески

Аннотация

Точный способ построения купола собора Санта-Мария дель Фьоре во Флоренции, ставшего символом Возрождения, вероятно, останется вечным предметом споров и спекуляций, поскольку его автор Филиппо Брунеллески никогда не предавал свои идеи бумаге. Это явилось поводом для все новых гипотез о методах строительства купола. Среди авторов, попытавшихся разгадать инженерную загадку купола, особняком стоит фигура итальянского архитектора Массимо Риччи, который разработал практическую методологию возведения купола и подтвердил ее экспериментом — строительством модели купола во флорентийском парке Анконелла. Статья освещает суть строительной методологии, с которой автор познакомилась во время личной встречи с Массимо Риччи во Флоренции в феврале 2020 г.

Ключевые слова: купол, Брунеллески, Флоренция, Санта-Мария дель Фьоре, Массимо Риччи, модель, Анконелла

A.V. Navolotskaya
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (Novosibirsk)
Leningradskaya Street, 113, Novosibirsk, Russia, 630008
sibvernissage@gmail.com
[https:// orcid.org/0000-0002-5469-6897](https://orcid.org/0000-0002-5469-6897)

K.V. Ermakova
Florence, Italy

Massimo Ricci — researcher of Filippo Brunelleschi's art

Abstract

The exact way of the building the dome of Santa Maria del Fiore in Florence, which is considered to be the symbol of the Renaissance, is still remaining an eternal subject of speculation, since its author Filippo Brunelleschi had never put down his ideas on paper. It was exactly the reason for all the new hypotheses about the methods of building the dome. Among the authors who tried to solve the engineering riddle of the dome, the figure of the Italian architect Massimo Ricci stands apart. He developed a practical methodology for building the dome and confirmed it with an experiment — building a model of the dome in Anconella Florence. The article deals with the subject of the construction methodology, which the author learnt during a personal meeting with Massimo Ricci in Florence in February 2020.

Key words: dome, Brunelleschi, Florence, Santa Maria del Fiore, Massimo Ricci, model, Anconella

Введение. Существуют памятники, которые благодаря своему величию, силе и красоте не только по праву становятся частью всемирного наследия, но изучаются в течение нескольких столетий. Это случай купола Брунеллески во Флоренции, памятника человеческой изобретательности, тех-

нологического вызова, который открыл путь к Ренессансу и стал самой важной точкой отсчета для сравнения всех великих куполов грядущей эпохи. Леон Баттиста Альберти с восхищением смотрел на эту постройку в 1436 г. Спустя столетие Микеланджело Буонарроти исследовал ее как «старшую

сестру» для своего проекта базилики Сан-Пьетро. Купол Брунеллески — парадигматическая работа для куполов Святого Павла (Лондон) и Капитолия (Вашингтон). Это был самый большой купол в мире, и он до сих пор остается самым большим каменным куполом из когда-либо построенных (ил. 1.1).

История строительной площадки купола Санта-Марии дель Фьоре (la Cattedrale di Santa Maria del Fiore) была изложена бесчисленное количество раз, начиная с истории, первой биографии архитектора Филиппо Брунеллески (Filippo Brunelleschi), написанной ок. 1480 г. Антонио Манетти на основе свидетельств, собранных им, в том числе благодаря личной встрече с Брунеллески [Manetti, 1970]. Биография Брунеллески, тиражированная Вазари [Vasari, 1954], получила великолепные подробности, благодаря открытию архивов Дуомо в середине XIX в. В это время молодой архивариус Чезаре Гуасти (Cesare Guasti) составил драгоценные тома, в которые вошло ок. 400 документов, касающихся купола. Рассмотрение историками этой документации продолжается. Исследователи интересовались геометрией купола, моделями и примененными строительными механизмами [Haines, Battista, 2015, с. 8].

Празднование VI столетия Брунеллески, которое состоялось в 1977 г., способствовало проведению дальнейших изысканий на куполе Санта-Марии дель Фьоре. В ходе реставрационных работ, проводившихся с 1980 по 1995 г., благодаря установленным лесам, открылся доступ к внутреннему куполу, что позволило изучить его техническое состояние. Осуществлен мониторинг, результатами которого стали углубленные исследования напряжений и деформаций купола. С помощью большого фотограмметрического обзора была получена современная, точная и полная карта структуры всего купола и документированы его повреждения [Borri и др., 2010, с. 1318–1320]. После закрытия реставрационной площадки продолжились дебаты о составе стен, системе строительства и механическом поведении купола.

Был создан цифровой архив источников Оперы (администрации) Санта-Марии дель Фьоре, состоящий из 21 тыс. документов, которые стали доступными в Интернете с 2001 по 2009 г. [Haines, Battista, 2015, с. 9].

Десятки исследователей из разных стран пытались разгадать загадки, связанные с куполом, среди них: Дж. Бартоли (G. Bartoli), С. Борри (C. Borri), М. Бетти (M. Betti), Б. Директор (B. Director), А. Чиаруги (A. Chiarugi), Б. Шуази Огюст (B. Choisy Auguste), Б. Чалифу (B. Chalifoux), М. Фанелли (M. Fanelli), Клаудио (Claudio), Дж. Фитчен (J. Fitchen), В. Гуселла (V. Gusella), Г. Джузеппетти (G. Giuseppetti), С. Гуасти (C. Guasti), F. Gurrieri

(Ф. Гурриери), М. Хейнс (M. Haines), Л. Ипполито (L. Ippolito), Б. Джонс (B. Jones), Р. Кинг (R. King), Л. Мустари (L. Mustari), Г.В. Лейбниц (G.W. Leibniz), Р.Дж. Mainstone (R.J. Mainstone), L. Matteoli (L. Matteoli), A. McLean (A. McLean), P. Murray (P. Murray), L. Mustari (L. Mustari), C. Peroni (C. Peroni), F.D. Прагер (F.D. Prager), M. Ricci, X. Саалман (H. Saalman), A. Серени (A. Sereni) Дж. Скалья (G. Scaglia), Дж. Тенненбаум (J. Tennenbaum), П. Терензи (P. Terenzi), П. Цандер (P. Zander).

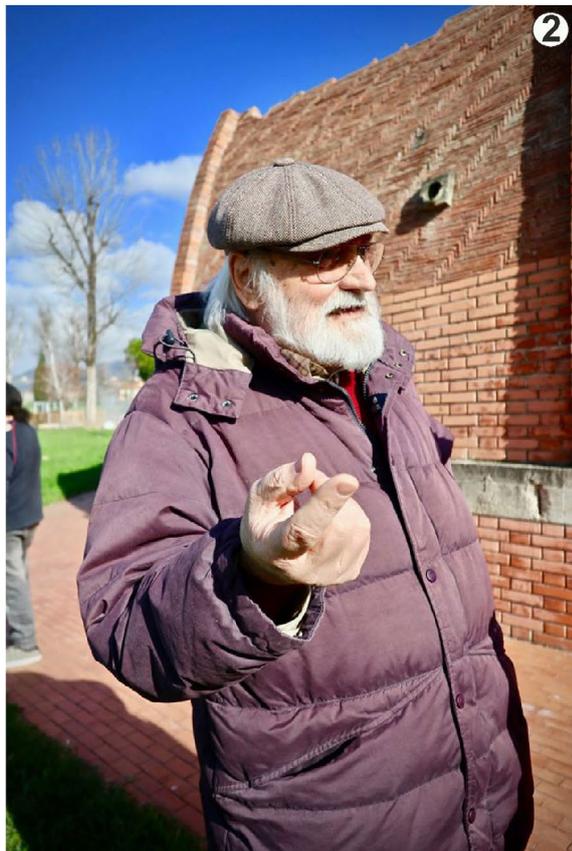
Особняком в этом списке стоит фигура Массимо Риччи (Massimo Ricci), с 1975 г. занимающегося исследованием купола. Страстный архитектор, он изучает купол больше, чем над ним работал Брунеллески. Следуя великому Учителю, избегая заниматься легкими спекуляциями, Массимо Риччи от гипотез и предположений перешел к практике. Ему удалось воссоздать модель купола Санта-Марии дель Фьоре в масштабе 1:5 в флорентийском парке Анконелла, используя приемы кирпичной кладки «рыбий хребет», характерной для купола, и строительные инструменты, аналогичные средневековым. Строительство модели, имеющей размеры 11 м в основании, началось в 1989 г. Но прежде чем это сделать, необходимо было совершить несколько инженерных открытий. Эти открытия невозможны были без полного погружения в купол, его историографию, технологию средневекового строительства, анализ гипотез предшественников, фотограмметрические исследования. Совершенные открытия так бы и остались гипотезами, если бы не модель. Для ее возведения пришлось проявить незаурядные качества организатора и менеджера.

Построение модели позволило уточнить интуитивные догадки и проверить их в свете «ремесленной практики» каменщика. Модель воспроизводит все строительные тайны купола вплоть до мельчайших деталей. Модель является материальным доказательством того, как был построен купол Санта-Марии дель Фьоре.

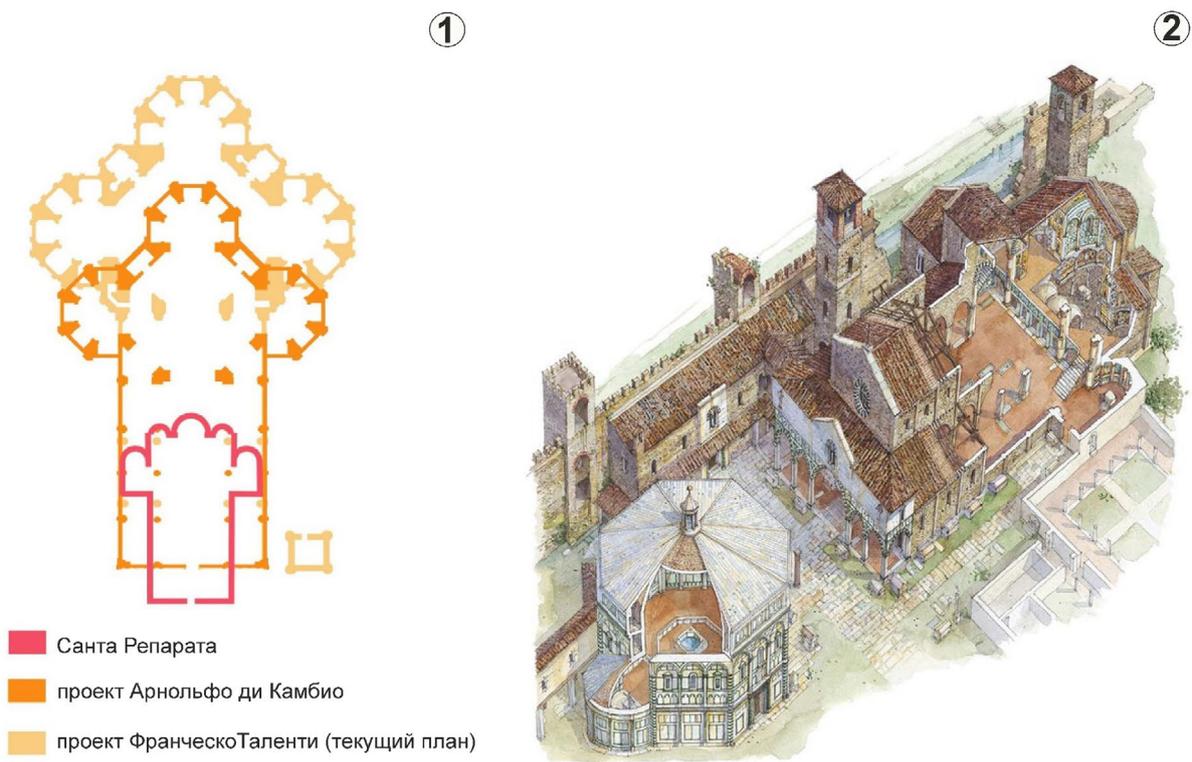
Массимо Риччи — профессор факультета архитектуры университета Флоренции, эксперт по реставрации памятников Юнеско, ответственный по сохранению архитектуры Дуомо Пьенцы, президент ассоциации Филиппа Брунеллески (ил. 1.2).

Целью данной статьи является последовательное изложение историографии купола и последних открытий, сделанных Массимо Риччи, с которым авторы встречались лично во Флоренции в феврале 2020 г. (ил. 1.3).

Массимо Риччи — истинный флорентиец. Его род существует вместе с Флоренцией 800 лет. Традиционно его семья занималась пекарным ремеслом. В XV в. своими инвестициями она помогала возведению собора



Ил. 1. ПМА: 1) собор Санта-Мария дель Фьоре во Флоренции [Nifosi, 2019];
2) Массимо Риччи, профессор факультета архитектуры университета Флоренции; 3) встреча с Массимо Риччи у модели купола собора Санта-Мария дель Фьоре, парк «Анконелла», февраль 2020 г.
Fg. 1. Author's field materials: 1) Cathedral of Santa Maria del Fiore in Florence [Nifosi, 2019];
2) Massimo Ricci, a professor of the department of architecture of the University of Florence; 3) meeting with Massimo Ricci at the model of the dome of Santa Maria del Fiore, Anconella Park, February 2020



Ил. 2. Эволюция проекта: 1) план эволюции проекта (http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%94%BB%E5%83%8F:SMD_Fplan.jpg); 2) церковь Санта-Репарата. (<http://za.pinterest.com/pin/249738741812267715>); 3) Андреа Бонаути. Воинствующая церковь, 1366–1368. Фреска. Флоренция, базилика Санта-Мария Новелла [Nifosi, 2019].

Fg. 2. Evolution of the design: 1) evolution of the plan (http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%94%BB%E5%83%8F:SMD_Fplan.jpg); 2) Church of Santa Reparata. (<http://za.pinterest.com/pin/249738741812267715>); 3) Andrea Bonauti. The Militant Church, 1366–1368. Fresco. Florence, Basilica of Santa Maria Novella [Nifosi, 2019]

Санта-Мария дель Фьоре, а также снабжала хлебом его строителей. Поэтому фамилию Риччи можно найти на ступенях Дуомо среди двух десятков фамилий семей, внесших свой добровольный вклад в строительство собора.

История собора Санта-Мария дель Фьоре. Купол Брунеллески — главная жемчужина Флоренции. Он замыкает перспективу многих улиц исторического центра. Он как бы «собирает» город воедино. Если взглянуть на Флоренцию сверху, все равно над ней будет возвышаться этот собор.

Санта Мария дель Фьоре, или Дуомо, как часто кафедральные соборы называют итальянцы, был построен на священном месте. Еще в IV—V вв. на римском фундаменте здесь был возведен собор Святой Репараты, мученицы, покровительницы Флоренции (ил. 2.1, 2.2). Но к XIII в. этот раннехристианский храм обветшал. Арнольфо ди Камбио, первый архитектор проекта, автор проектов Палаццо Веккьо, городских стен, базилики Санта-Кроче, должен был построить собор, чтобы вместить туда весь город (90 тыс. горожан) и превзойти собор Сиены — другого доминирующего города Тосканы.

Арнольфо отвечал за общую форму здания, но умер задолго до завершения строительства. В своем проекте Арнольфо предусмотрел куполообразную крышу. О форме купола известно благодаря фреске второй половины XIV в., написанной флорентийцем Андреа Бонаюти в базилике Санта-Мария Новелла. Вероятным источником вдохновения для восьмиугольного купола был баптистерий Сан-Джованни, древнейшая постройка на этой площади. По неуточненным данным, она датируется римскими временами (храм Марса). Фреска фиксирует, что у купола нет барабана, поэтому он ниже, чем тот, который будет построен в XV в., но без труда угадывается его силуэт (ил. 2.3). Ди Камбио не оставил никаких указаний на то, как должен был быть построен купол.

С 1350 г. строительство собора возглавил мастер-строитель Франческо Таленти. Проект Таленти ставил целью увеличить его объем. Были установлены новые размеры восьмиугольной основы купола, внутренний диаметр увеличен на 17 м и составил примерно 42 м. После завершения строительства барабана работы на куполе были приостановлены.

В 1366 г., спустя около 70 лет с момента начала работ, мастером становится некий Джованни ди Лапо Гини, модель которого не отличалась от традиционных канонов того времени: типичная готическая структура с тонкими стенами, высокими окнами и контрфорсами, используемыми для поддержки внешнего купола.

Команда Нери ди Фиораванти (Neri di Fioravante Fioravanti), опытного мастера-

строителя, который расширил Палаццо дель Барджелло и восстановил Понте Веккьо после наводнения 1333 г., раскритиковала этот подход к проектированию, особенно контрфорсы, которые считались уродливыми и неуклюжими уловками. Эта критическая позиция была продиктована не только эстетическими причинами, но и политическими, поскольку готическая архитектура являлась символом новых варваров: Германии, Франции, Милана. Предложенная модель купола была гораздо более амбициозной и оригинальной. Фиораванти предусматривал возвращение к римскому классицизму, устранение внешних опор и поглощение нагрузок, передаваемых куполом через вставку каменных или деревянных цепей внутри конструкции стены, а также железные обручи [Vereycken, 2012]. Модель также предусматривала построение двух наложенных куполов в соответствии с готической конфигурацией арки (остроконечная круговая арка с радиусом, равным 4/5 диаметра купола) [Nunziata, 2017].

Опера Дуомо в 1367 г. представила эти два проекта на референдум, и жители Флоренции выбрали проект Фиораванти, который известен как проект «мастеров и художников». Эта модель предусматривала следующие характеристики двойного восьмиугольного купола: высота 144 сажени (ок. 84 м), ширина 72 сажени (ок. 44 м), барабан — 43 м от земли, ок. 13 м в высоту и 4 м в толщину. Каждый год руководители Дуомо обязаны были положить обе руки на Библию и поклясться, что построят здание в соответствии с этим проектом [Hamerman, Rossi, 1986].

Это решение оформилось в проблему завершения строительства собора, потому что никто не знал, как построить купол диаметром ок. 45 м без внешней поддержки, в прямом смысле сидя на стенах собора на высоте ок. 55 м на восьмиугольном основании. Задача заключалась в том, чтобы открыть новый метод строительства. Проблема была не в стоимости. Это был вопрос ума [Cascini, Nanni, 2003].

Филиппо Брунеллески (1377–1446) — создатель купола. Строительство флорентийского купола часто за цикливалось на личности его изобретателя Филиппо Брунеллески, носящей иллюзионистский и фарсовый характер, его борьбе за превосходство над завистливыми конкурентами, неохотными покровителями, боязливими рабочими и коварными поставщиками.

«Многие, кому природа дала малый рост и невзрачную наружность, обладают духом, исполненным такого величия, и сердцем, исполненным столь безмерного дерзания, что они в жизни никогда не находят себе успокоения, если не берутся за вещи трудные и почти что невозможные и не доводят их до конца на диво тем, кто их созерцает»,

— писал о Брунеллески Вазари [Vereycken, 2012].

Мать Брунеллески, Джулиана Спино (Giuliana Spini), принадлежала к знатному, богатому роду. Отец, Брунеллески ди Липпо Лапи (di ser Brunellesco di Lippo Lapi), был почетным гражданином Флоренции, известным нотариусом, активно участвовавшим в политической жизни города, выполнявшим дипломатические миссии. Как и надлежало детям из состоятельных семей, Филиппо получил блестящее гуманитарное образование, проявил незаурядный талант к точным наукам, удивляя позже своими познаниями знаменитого ученого Паоло Тосканелли.

Любовь к творчеству определила жизненный путь Брунеллески, решившего посвятить себя ювелирному делу, которое в Средние века было тесно сопряжено с искусством скульптуры и архитектуры. В 1401 г. во Флоренции он участвовал в конкурсе на Врата Рая для баптистерия Сан-Джованни (battistero di San Giovanni), где его конкурентом был Гиберти. Во время изготовления конкурсной панели Гиберти все время приглашал комиссию в свою ботегу (мастерскую), в отличие от Брунеллески, который закрылся дома и три месяца никого не пускал. Биографы утверждают, что Гиберти выиграл, потому что общался с комиссией, возможно, внес согласованные корректировки. Брунеллески, обидевшись, уезжает в Рим.

Родившийся во Флоренции в 1377 г. Брунеллески вырос под сенью нерешенной технической проблемы перекрытия восточной части Дуомо. Собор был подведен под своды. Потенциальный архитектор флорентийского купола должен был изобрести метод строительства, с помощью которого он мог бы построить самый большой самонесущий купол в мире, т.е. получить полный контроль над гравитацией.

Два величайших купола прежних времен, Пантеон в Риме и собор Святой Софии в Стамбуле, не требовали открытий и возводились с использованием центральных деревянных платформ и строительных лесов.

Многие эксперты того времени не верили, что купол можно перекрыть. Брунеллески же был категоричен: «Бог, для которого нет ничего невозможного, не оставит нас». Чтобы начать проект, он предложил организовать международную конференцию и пригласить всех архитекторов, инженеров и каменщиков «столько, сколько можно найти в христианском мире».

Конкурс был объявлен Гильдией шерстяных мастеров 7 августа 1418 г. чтобы предоставить «модели или чертежи свода большого купола, а также структуры и платформы, устройств и машин, которые могут понадобиться для строительства» [Haines, 2012]. Награда победителю составила 200

золотых флоринов. В конкурсе приняло участие 18 человек (ил. 4).

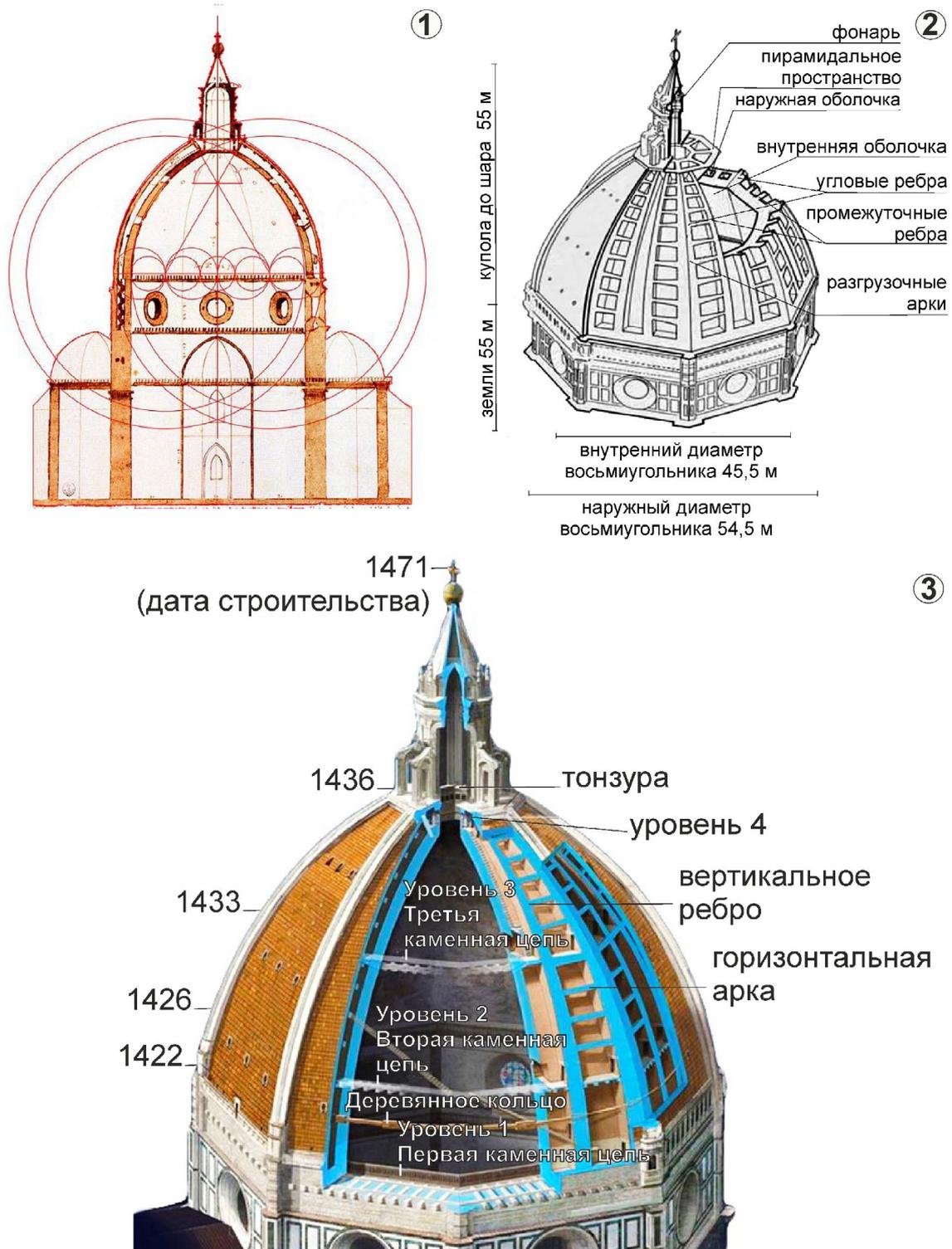
Касательно возведения купола у участников конкурса были самые разнообразные мнения. Одни утверждали, что леса должны быть построены с уровня земли. Количество древесины, которое потребовалось бы для этого, не только превышало запасы флорентийского казначейства, но и требовало деревьев больше, чем те, которые росли в лесах Тосканы. Другие говорили, что лучше всего сделать купол из легкого губчатого камня, чтобы облегчить вес. Большинство же сходилась на необходимости соорудить посередине собора временный столб и поставить на него свод, подобный куполу флорентийского баптистерия. Было предложение наполнить подкупольную часть здания землей, смешанной с мелкими монетами, чтобы по завершении работы горожане унесли землю вместе с монетами «в одно мгновение без каких-либо затрат».

Один Филиппо сказал, что купол можно поднять без большого количества деревянных лесов, без опор, без земли, без больших затрат на множество арок и без какого-либо каркаса [Nunziata, 2017]. В конце 1418 г. четыре каменщика под руководством Брунеллески изготовили модель в масштабе 1:12, которая демонстрировала проект купола и инновационный способ его возведения без сплошной опалубки.

На втором рабочем совещании Брунеллески попросили объяснить метод строительства. Опасаясь, что его проект будет украден, Брунеллески подарил яйцо аудитории и сказал: «Тот, кто преуспеет в том, чтобы яйцо встало, будет достоин...». Взяв яйцо, все мастера стремились поставить его в вертикальное положение, но никто не смог найти путь. После того, как все попытались сделать это безуспешно, Брунеллески раздавил острие яйца на мраморном столе и поставил его. Все возразили, что, конечно, они сделали бы то же самое, «если бы знали...», и Брунеллески иронично ответил, что то же самое будет с куполом. Лишь после этого его назвали «капомаэстро» (главный архитектор) строительной площадки [Gentry и др., 2011].

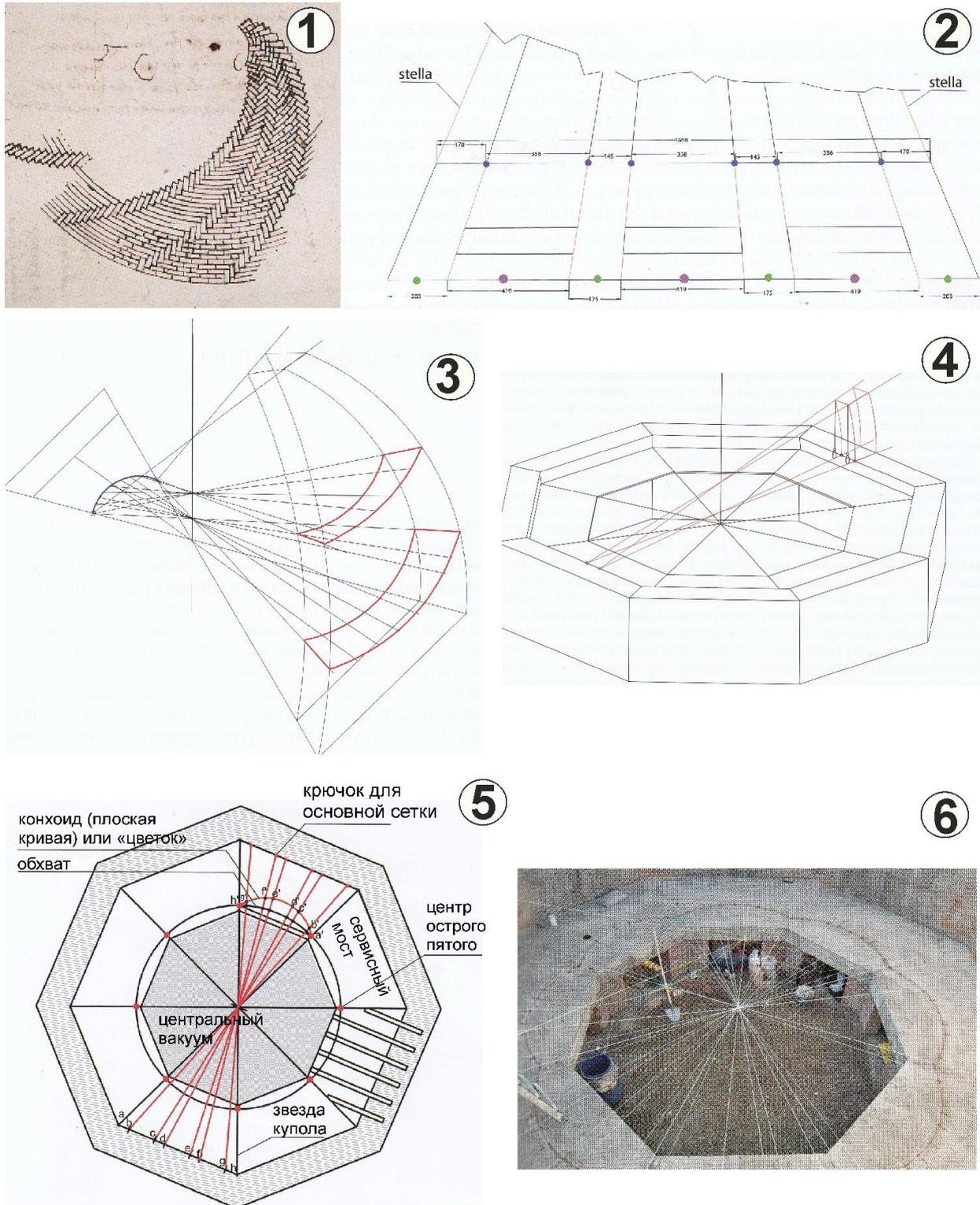
В качестве помощника ему ставят Лоренцо Гиберти, который тоже участвовал в конкурсе, но в этот раз уступил Брунеллески. 16 апреля 1420 г. начались работы по строительству купола. Брунеллески хитростью отделяется от Гиберти.

Конструкция купола. Брунеллески предложил сделать легкий, из двух оболочек, купол из камня и кирпича, который собирался бы из 8 граней — «долей» — и скреплялся сверху архитектурным фонарем (ил. 3.2). Кроме того, он вызвался создать целый ряд машин для подъема грузов и работы на высоте.



Ил. 3. Конструкция купола: 1) диаграмма «острый пятый» («quinto acuto») [Hamerman, Rossi, 1986, p. 29]; 2) модель купола собора Санта-Мария дель Фьоре (<http://www.pinterest.ru/pin/292452569543034134>); 3) внутренняя структура купола: 1 — уровень 1, первая каменная цепь, 1422 г.; 4 — деревянное кольцо; 5 — уровень 2, вторая каменная цепь, 1426 г.; 6 — вертикальное ребро; 7 — горизонтальные арки; 8 — уровень 3, третья каменная цепь, 1433 г., уровень 4 — 1436 г. Графическая реконструкция Fernando G. Baptista, NGM Staff

Fig. 3. Dome design: 1) the "sharp fifth" ("quinto acuto") diagram [Hamerman, Rossi, 1986, p. 29]; 2) a model of the dome of Santa Maria del Fiore (<http://www.pinterest.ru/pin/292452569543034134>); 3) an internal structure of the dome: 1 — level 1, the first stone chain, 1422; 4 — a wooden ring; 5 — level 2, second stone chain, 1426, 6 — vertical rib, 7 — horizontal arches, 8 — level 3, third stone chain, 1433, level 4 — 1436. Graphic reconstruction of Fernando G. Baptista, NGM Staff



Ил. 4. Реконструкция технологии строительства купола: 1) техника «рыбий хребет» [Vereycken, 2012]; 2) построение базовой сетки, расположение крючков в начале работы [Ricci, 2014, p. 101]; 3) прокладка мягких канатов для укладки кирпича [Ricci, 2014, p. 96]; 4) использование крючков для определения центрального ребра [Ricci, 2014, p. 97]; 5) построение конхоиды Никомеда, названной Массимо Риччи «цветок Санта-Мария дель Фьоре», и базовой решетки на платформе [Ricci, 2014, p. 126]; 6) техника построения конхоиды [Ricci, 2014, p. 119]

Fg. 4. Reconstruction of the dome construction technology: 1) "fish ridge" technique [Vereycken, 2012]; 2) construction of the base grid, location of the hooks at the beginning of the work [Ricci, 2014, p. 101]; 3) laying soft ropes for laying bricks [Ricci, 2014, p. 96]; 4) using hooks to define the central rib [Ricci, 2014, p. 97]; 5) construction of the Nycomed conchoid, named by Massimo Ricci The Flower of Santa Maria del Fiore, and the base lattice on a platform [Ricci, 2014, p. 126]; 6) technique of a conchoid constructing [Ricci, 2014, p. 119]

Вот лишь некоторые параметры купола: расстояние между оболочками — ок. 1,2 м; боковые стороны барабана — ок. 17 м; внутренние углы — ок. 135°; толщина несущей конструкции внутреннего купола — 2,2 м; толщина несущей конструкции внешнего купола — ок. 0,9 м, большая диагональ внутреннего купола — 45,5 м; большая диагональ внешнего купола — 54,5 м; импост с пола Пьяцца дель Дуомо — 55 м; основание фонаря с пола Пьяцца дель Дуомо — 91 м; общая высота ок. 116 м; вес купола — 29 тыс. т; вес фонаря 750 т [Corazzi, 2012, с. 86].

Специалисты отмечают наличие ряда Фибоначчи в его параметрах, это: 13 м — высота барабана; 21 м — высота фонаря; ок. 34 м (32 м — внутренний, 36 м — внешний) — высота купола; 55 м — импост над землей. 13, 21, 34, 55 — последовательность Фибоначчи (золотое сечение).

Купол подвержен действию сил сжатия и растяжения, которым архитектор должен противостоять. Сжатие является относительно незначительной проблемой. В основном это боковая тяга, вызванная нагрузкой «кольцевого напряжения», которая является основной заботой архитектора. Ранее купола строились без использования дерева и так называемого центрирования. В ранних гробницах в городе Абидос в древнем Египте — кирпичная кладка состоит из простых горизонтальных слоев, настоящих колец из кирпича, диаметр которых постепенно уменьшается. Этот метод существовал и в Микенской Греции, где кирпичи были заменены камнями, диаметр «сокровищницы Атрея» — 14,5 м.

Согласно рассказу Манетти, Брунеллески вместе со своим близким другом, скульптором Донателло, более 10 лет исследовал руины древнего Рима, в том числе Пантеон, построенный при императоре Адриане в 121 г. нашей эры [Manetti, 1970]. Сферическая оболочка купола Пантеона имеет диаметр 44 м и вес 5000 т. Знаменитая «запирающая кирпичная кладка» заменена здесь круговыми горизонтальными слоями пуццоланского бетона (строительного раствора с вулканическим пеплом Везувия). Остается неясным, удалось ли друзьям проникнуть на территорию «Домус Ауреа» (Domus Aurea), золотого дома с куполом, построенного Нероном в 64 г. н. э. Сферический зал на восьмиугольной основе достигал впечатляющего диаметра — 14 м.

Древние техники возведения купола были утеряны. В Средние века при возведении арок широко применялся метод центрирования с использованием деревянной опалубки. Опалубка удалялась, когда раствор высохал после установки замкового камня, который снимал напряжение с колонн, поддерживающих арку.

Самым главным достижением Филиппо

по поднятию купола было то, что он сделал это без традиционного в то время центрирования.

Геометрия возведенного купола по-итальянски определяется как *quinto acuto* («острый пятый»). Внутренний диаметр купола делится на пять равных частей. Радиус длиной 4/5 диаметра составляет внутренний изгиб купола. Радиус длиной 3/4 внешнего диаметра купола составляет его внешний изгиб (ил. 3.1).

Глядя на внешнюю сторону купола невозможно понять все «хитрости» его конструкции. Эта загадка несколько веков зажигает десятки споров об инновациях, которые позволили первому настоящему инженеру-конструктору возвести купол, который до сих пор представляется удивительно современным.

Практическая методология возведения купола, подтвержденная экспериментом Массимо Риччи. Брунеллески пришлось изобрести множество оперативных уловок, их вполне можно было бы считать эксклюзивными для купола. Эти не востребуемые в дальнейшем в широком строительстве «операционные процессы» были быстро забыты традиционным мастерством и скрыты тайной. Вся история исследований, предпринятых до Массимо Риччи на куполе, систематически пренебрегала или очень мало учитывала эти аспекты строительного мастерства. Массимо Риччи реконструировал методологию строительства на своей модели в парке Анконелла и объяснил основные секреты Брунеллески.

Первый секрет купола, как утверждает Массимо Риччи, заключается в том, что в основе купола — распорная плоская арка.

Со структурной точки зрения купол Брунеллески состоит из двух слоев: внутреннего купола, охватывающего диаметр октаэдрической кольцевой балки, и внешнего тонкого купола. Внутренняя оболочка (*intrados*) имеет постоянную толщину, придает куполу структурную прочность; внешний слой (*extrados*) постепенно истончается от основания к «тонзуре» купола и защищает от непогоды [Vogt и др., 2010]. Массимо утверждает, что две оболочки купола соединены между собой 24 ребрами, которые образуют ряд готических арок (ил. 3.3).

Из 24 ребер — восемь угловых и 16 срединных. Они сходятся к вершине. Указанные ребра опоясаны 3 ободами прочных блоков песчаника и одним деревянным. Эти обода — растяжимые элементы. Блоки — длинные и хорошо связаны цепями оловянного железа. Между ребрами находятся девять рядов горизонтальных арок — сжимающие элементы внутреннего купола.

Каменная кладка и выступающие концы первой каменной цепи все еще видны сегодня. Радиальные камни в цепи были остав-

лены выпусками снаружи внешней оболочки, чтобы обеспечить точки крепления на наружной части купола. Вторая и третья каменные цепи сконструированы таким же образом, как и первая цепь, только без выступающих концов. Стяжка из дерева была включена для укрепления внутреннего прохода во время строительства. В спецификации проекта 1420 г. говорится, что это кольцо может быть удалено после завершения строительства, если оно препятствует проходам через купол [Gentry и др., 2011].

Для Брунеллески его купол был не бочкой, а человеческим телом. Манетти сообщил, что Брунеллески, изучая здания в Риме, «отметил, что способ строительства древних использует принцип подобия. Он сравнивал конструкцию купола с плотью и костями. 24 опоры можно рассматривать как кости обширной грудной клетки. Цепи выступают в качестве сухожилий. Но скелет никогда не будет ходить только с сухожилиями. Ему нужны мышцы, которые его поддерживают, это — кирпичная кладка.

Изгиб угла ребер соответствует 60 градусам, этот уровень наклона сохранялся благодаря деревянным лекалам, передвигающимся вверх по мере появления новых рядов кладки. Кирпичная кладка выполнена не горизонтально, а с уклоном внутрь, что ослабило внутренний распор и уменьшило нагрузку на основание здания.

Техника кладки «рыбий хребет», унаследованная от этрусков и возрожденная в XIV в. (Trecento), — это чередование укладки кирпича по горизонтали с его вертикальной установкой через промежутки. Последовательность вертикальных кирпичей имеет конфигурацию спирали от вершины до основания с уклоном 45 градусов («гребень»). Горизонтальные кирпичи, включенные между двумя последовательными «гребнями», являются «парусами». Этот метод позволяет строить полусферические купола без каркаса (ил. 4.1).

Функционирование спирального расположения кирпичей заключается в том, чтобы сделать возможным «блокирование» движения кладки по мере возведения купола. Таким образом, предотвращается соскальзывание кирпича вследствие крутого внутреннего уклона кладки [Cascini и др., 2003]. Spina pesca — это отказ от кружал (специальных дугообразных досок для возведения сводов) — незаменимое устройство для каменщиков при установлении порядка, который отдан здесь направляющим кирпичам.

В куполе собора Санта-Мария дель Фьоре кирпичи выложены «гребнями и парусами», как будто Брунеллески построил круглый купол. Но купол все же восьмиугольный [Hamerman, 1986].

Поверхность купола покрыта красной черепицей и разделена восемью белыми

мраморными ребрами, расположенными по углам. Эти выступы не имеют какой-либо несущей функции, представляют собой легкий каркас, подобный каркасу зонтика. Хромотический эффект покрытия купола хорошо различим даже за несколько километров.

Второй секрет купола от Массимо Риччи — это деревянные закладные детали.

Массимо Риччи обратил внимание, что на уровне примерно в 1,7 м от основания купола находятся отверстия размером 60 × 60 см. Архитектора особо поразила точность горизонтального выравнивания этих отверстий. Он предположил, что это отверстия для балок, которые служили, в свою очередь, основанием для установки на высоте строительных помостов. На балки, считает он, ложились поперечные прогоны с сечением ок. 20 × 20 см, на них — доски толщиной 5–7 см, которые служили настилом. Таким образом, общая высота конструкции строительной помоста составила ок. 86 см [Ricci, 2014].

Опыт строительной площадки подсказал ему, что такая точность каменщика делается для эксплуатационных нужд. Он предположил, что палуба, сделанная с подобной точностью, использовалась не только для строительных, но и для измерительных работ. Такая точность косвенно указывала на то, где Брунеллески применил трассировку купола.

Массимо сначала предположил наличие базовой сетки креплений, позволяющих с помощью веревки трассировать купол, совершил обмеры базовой решетки, а потом при реставрации купола нашел замурованные в каменной кладке крюки, которые располагались с рассчитанным им ранее шагом и были закрыты электрокабелем (ил. 4.2). Эти крюки использовались при организации строительных работ для фиксации веревок. находка также явилась доказательством того, что Брунеллески использовал радиальный метод трассировки и канаты для позиционирования кирпичей. Также стало ясно, что задуманный Брунеллески оперативно-структурный проект был известен ему с самого начала.

Суть главного открытия Массимо Риччи. Геометрия купола была установлена на четырех диагоналях базового восьмиугольника, который назван Риччи звездой. Очевидно, что геометрическое отслеживание купола происходило через вертикальные радиальные плоскости, проходящие через базовые диагонали. Железо (скобки, крюки) и шнуры были необходимы для отслеживания геометрии модели купола. На иллюстрации отражена прокладка мягких канатов для укладки кирпича (ил. 4.3, 4.4)). Теории радиальной конструкции купола удовлетворяют все известные факты.

Для построения модели конхоида пару-

сов купола Массимо Риччи предложил этот «цветок». Появление цветка позволяло добиться обратной вогнутости купола. Таким образом, «звезда — базовая сетка крючков — цветок» — третье и главное открытие Массимо Риччи. На следующем рисунке с цветком представлена организация и размеры базовой решетки и крючков (4.5, 4.6). Впервые за 550 лет все эти строительные операции была повторены на куполе Анконелла.

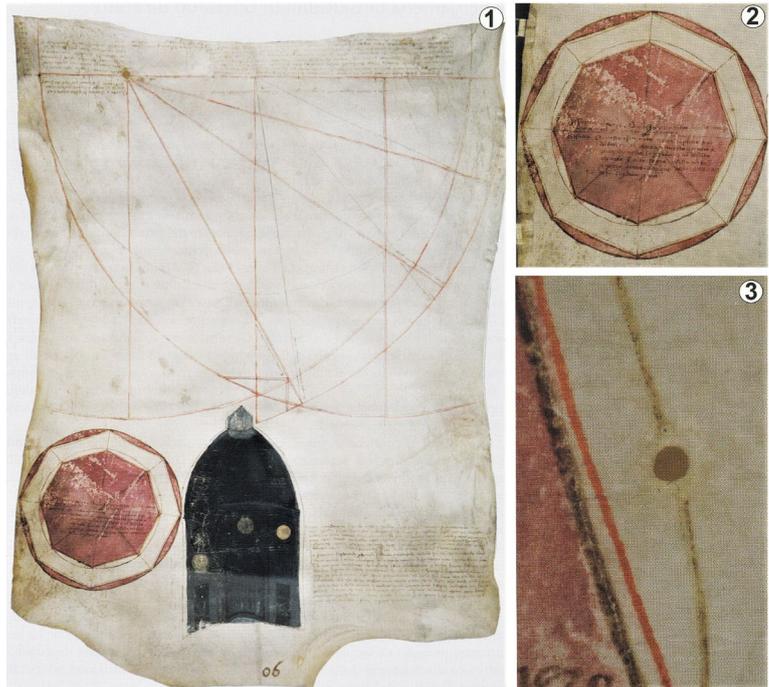
Точный способ построения купола, вероятно, останется вечным предметом споров, поскольку Филиппо Брунеллески никогда не предавал свои идеи на бумаге. Отсюда и почва для постоянных гипотез о методах строительства купола. Прежде чем приступить к работе над куполом Санта-Марии дель Фиоре, например, он начертил план в натуральную величину на отмели Арно рядом с Флоренцией.

Этот набросок на пергаменте найден палеографом, подругой Массимо Риччи, в архиве флорентийской городской библиотеки спустя 5 лет после того, как началось строительство купола Анконелла (ил. 5). Это единственное свидетельство очевидца Джованни ди Пратта, выступившего здесь с резкой критикой методов Брунеллески. Каков был восторг Массимо, обнаружившего на пергаменте цветок, ведь к этому времени он уже дошел до цветка Дуомо самостоятельно. Пергамент явился лучшим подтверждением сделанного Массимо открытия.

Строительные механизмы и приспособления — наследие Брунеллески. Великая стройка, бросившая вызов всем человеческим знаниям той эпохи, стала локомотивом, провоцирующим научно-техническую революцию.

Сложность самой постройки заключалась не только в возведении купола, но и в сооружении специальных приспособлений, которые позволили бы работать на большой высоте, что казалось тогда невозможным. Филиппо Брунеллески был большим изобретателем.

Стандартизируя детали и даже беря на себя ответственность за доставку еды на рабочую площадку, Брунеллески предвосхитил некоторые методы современного промышленного капитализма. Он искал и получил монопольные патенты на свои изобретения. Он изобрел специальные подъемники для экономии труда и тягловой силы (ил. 6). Брунеллески — первый, кто взял патент на приспособление по подъему грузов. И также он изобрел первое водное транспортное судно с вращающимися лопастями. Этот паром, также запатентованный Брунеллески, мог перевозить 33 тонны мрамора. Из Каррары он шел в Пизу, из Пизы — в Сильо, из Сильо — на телегах мрамор везли во Флоренцию. Привезти на корабле 330 кг



Ил. 5. Чертеж Джованни ди Пратта, Флоренция, Государственный архив, выставка № 158. Опера Флоренции, № 90 [Ricci, 2014, p. 158]
Fig. 5. Drawing by Giovanni di Pratt, Florence, State Archive, exhibition No. 158. Florence Opera, No. 90 [Ricci, 2014, p. 158]

мрамора стоило восемь флоринов вместо 14 — обычным способом. Способ Брунеллески был дешевле. В патенте было записано: «Кто скопирует этот корабль, будет сожжен» [Ricci, 2014],

Леонардо да Винчи родился через 6 лет после смерти Брунеллески. Леонардо видел и изучал работы Брунеллески, вот почему 80% механизмов, которые приписаны Леонардо, просто были скопированы им у Брунеллески. Он был известным копировщиком.

Неизвестно, как Брунеллески спроектировал свои великие подъемно-транспортные машины, но потребовалось еще 150 лет, чтобы один великий тосканец — Галилео Галилей — начал кодифицировать физические законы кинематики и прочности материалов, которые лежат в основе работы этих великих устройств.

Восемь кирпичных форм, которые и сейчас хранятся в Музее Опера ди Санта-Мария дель Фиоре, хорошо сохранились и относятся к модульным элементам, специально разработанным для облицовки стен купола. Кирпичи имели следующие средние размеры: толщина — 5,5 см, длина — 50 см, ширина — 25 см. Производимый кирпич по весу и размеру должен был соответствовать деревянной форме.

Брунеллески лично контролировал вес и размеры кирпича. Правильное и постоянное измерение кирпичей позволило более эффективно амортизировать кладку. Контроль веса был также фундаментальным, потому

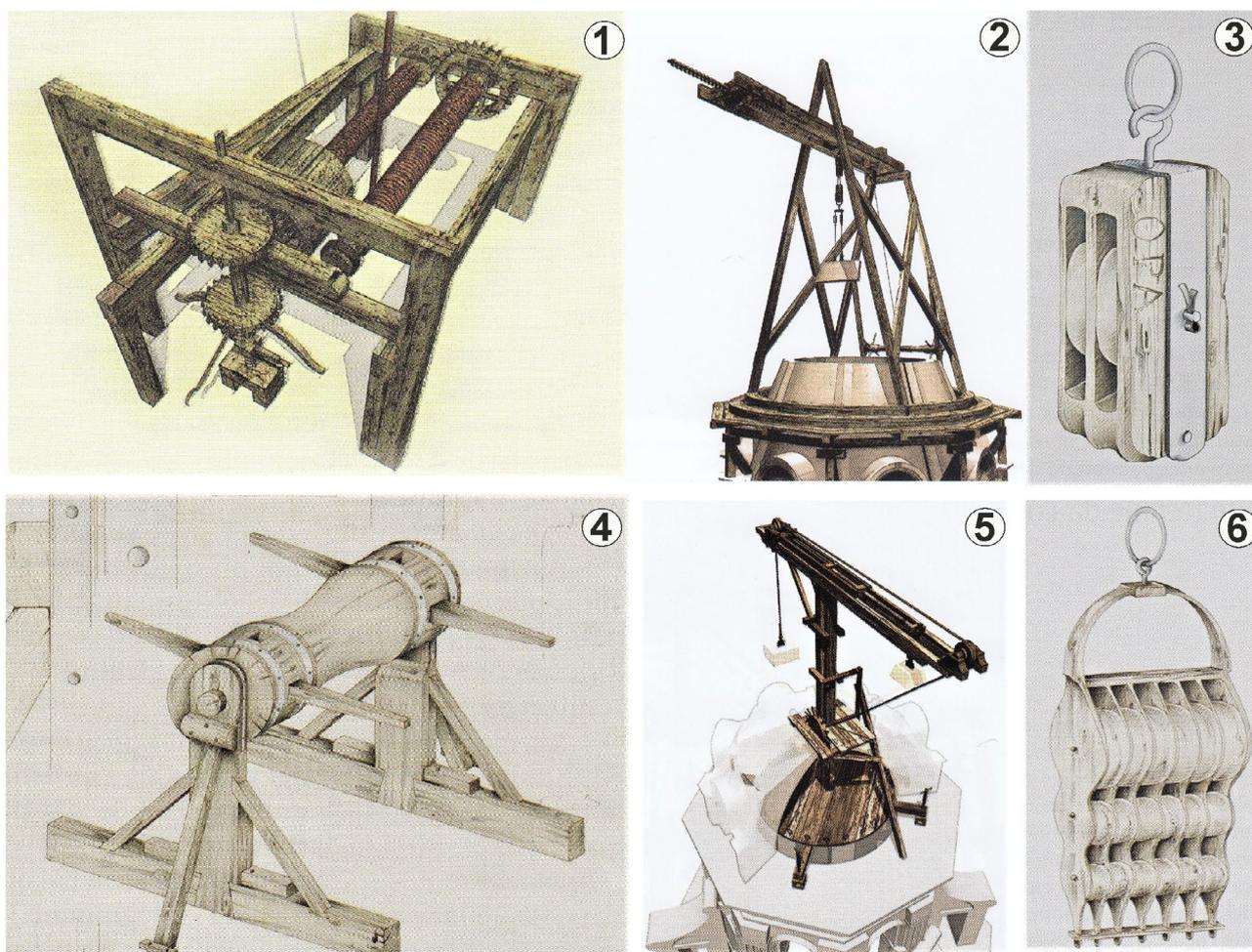
что купол должен был быть хорошо сбалансирован по статическим причинам.

Заклучение. В июле 1439 г. под куполом флорентийского собора был провозглашен конец раскола двух ветвей христианской церкви. Объединение в диалоге культур всех людей доброй воли, призыв к окончанию вековых войн и крестовых походов способствовали формированию семантики купола. Этот диалог был подпитан развернувшейся мобилизацией по освоению высот человеческого познания: изучать греческий и иврит, чтобы перестать путать библейские толкования; перевести Платона и Аристотеля, чтобы наконец выяснить фундаментальное различие; рассмотреть изобретения Архимеда, Витрувия и Вегеция; создать новое оборудование с использованием новой энергии; заботиться об общем благосостоянии, делая больницы и школы доступными для многих, иными словами — возродиться. К сожалению, этот межконфессиональный мир оказался недолгим. Тем

не менее тщательно скрываема гениальным архитектором технология возведения флорентийского брэнда ознаменовала начало Возрождения — ренессансный — этап развития архитектуры.

Когда Массимо Риччи пригласили в Гарвардский университет, его выступление должно было длиться 40 минут, что является многолетним стандартом конференции. Выступление исследователя длилось 1 час 40 минут, что произошло впервые за всю историю выступлений в Гарварде. Доклад слушали 1800 представителей научного сообщества, 12 из них — лауреаты Нобелевской премии. Массимо Риччи 1,5 часа отвечал на вопросы, а по завершении люди обнимали его и плакали, это был невероятно трогательный момент. Самым важным для архитектора-исследователя было то, что люди не пожалели времени на это великое знание.

Роберт Арнольд, национальный директор по образованию Международного фонда об-



Ил. 6. Строительные механизмы, разработанные Филиппо Брунеллески [Ricci, 2014, pp. 144, 147, 153]: 1) воротничковый станок, главный купольный кран; 2) поворотный кран; 3) поворот с двумя канавками и два шкива; 4) лебедка; 5) журавль с лебедкой; 6) многократный подъем

Fig. 6. Building mechanisms developed by Filippo Brunelleschi [Ricci, 2014, pp. 144, 147, 153]: 1) collar machine, the main dome crane; 2) slewing crane; 3) a turn with two grooves and two pulleys; 4) winch; 5) a crane with a winch; 6) multiple rise

учения и образования, учебного подразделения Международного союза каменщиков и смежных мастеров (США), принявший личное участие в возведении модели купола, сказал: «Я бы посчитал купол Флорентийского собора инженерным чудом. Этот купол был спроектирован ювелиром в начале 1400-х гг. и построен до того, как научились рассчитывать напряжения на конструкции. Более четырех миллионов кирпичей было установлено без системы центровки, и тот факт, что купол все еще стоит сегодня, спустя 600 лет, на мой взгляд, является чудом».

Выводы. Предложенная Массимо Риччи методология возведения купола, в первую очередь, была подтверждена экспериментом — строительством масштабной модели во флорентийском парке «Анконелла», и может считаться практической. Во-вторых, при строительстве использованы только методы, которые могли быть доступны во времена Брунеллески. В-третьих, эта практическая методология обладает элегантностью и простотой, которые подчеркивают ее правдоподобность. Модель удовлетворяет всем известным фактам. Наконец, есть фактические и косвенные доказательства ее правильности в виде найденных после ее создания закладных деталей и чертежа Джованни ди Пратта.

References

1. Borri C., Betti M., Bartoli G. The secret of a Genius: Filippo Brunelleschi and the Dome of Santa Maria del Fiore. In: *Advances and Trends in Structural Engineering, Mechanics and Computation*. London: Zingoni, 2010. Pp. 1317–1320.
2. Cascini G., Nanni R., Russo D. TRIZ Patterns of Evolution as a means for supporting History of Technology: analyzing the Brunelleschi's Dome cranes. *The TRIZ journal*. July 4, 2003. URL: <http://triz-journal.com/triz-patterns-evolution-means-supporting-history-technology-analyzing-brunelleschi-dome-cranes> (accessed: April 28, 2020).
3. Ferretti E. Les maquettes en bois du dôme de Brunelleschi au Museo dell'Opera à Florence: architecture, techniques et projet aux XVe et XVIe siècles, in *La maquette, un outil au service du projet architectural*, Paris, Éditions des Cendres-Cité de l'Architecture et du Patri-
4. Gentry T.R., Lesniewski A. Structural design and construction of Brunelleschi's Duomo di Santa Maria del Fiore. In: *Eleventh North American Masonry Conference*. Minneapolis, Minnesota. June 5–8, 2011. URL: <http://doctot.net/document/brunelleschi> (accessed: April 28, 2020).
5. Corazzi R. La curva «lossodromica» e la spina pesce. *Geometria — Costruzione — Architettura*. 2012. Vol. 5. No 9. Pp. 85–92.
6. Haines M. Myth and Management in the Construction of Brunelleschi's Cupola. In: *Estratto da: I tatti studies essays in the Renaissance*. Vol. 14–15. Firenze: Leos, Olschkieditore, 2012. Pp. 47–110.
7. Haines M., Battista G. Un'altra storia Nuove prospettive sul cantiere della cupola di Santa Maria del Fiore. — Berlin-Firenze, 2015. 45 p.
8. Hamerman N., Rossi C. Brunelleschi's Dome. 21st century. *Science and technology*, 1986. Vol. 2. No 4: July – August. Pp. 24–39.
9. Manetti A. *The life of Brunelleschi*. Pennsylvania: Pennsylvania State University Press, 1970. 176 p.
10. Nifosi G. La Cupola del Brunelleschi a Firenze. *Arte Svelata*. 21st October, 2019. URL: <http://www.artesvelata.it/cupola-brunelleschi> (accessed: 28.04.2020).
11. Nunziata I. La costruzione della Cupola del Brunelleschi. *Magazine Dario Flaccovio* URL: <http://magazine.darioflaccovio.it/2017/05/12/costruzione-cupola-brunelleschi-ipotesi-nunziata> (accessed: 28.04.2020).
12. Ricci M. Il genio di Filippo Brunelleschi. *E la costruzione della Cupola di Santa Maria del Fiore*. Florence: Sillabe, 2014. 232 p.
13. Vasari G. *Vies des artistes*. Paris: Grasset, 2007. 518 p.
14. Vereycken K. Les secrets du dôme de Florence. *Solidarite & Progress*. July 30, 2012. URL: <http://solidariteetprogres.fr/documents-de-fond-7/culture/dome-florence-secrets> (accessed: 28.04.2020).

Список сокращений

ПМА — полевые материалы автора