

Способы изготовления полигональной кладки из крупных каменных блоков с криволинейными поверхностями сопряжения в мегалитических комплексах Перу

Р. В. Лапшин, к. т. н.

НИИ Физических проблем им. Ф. В. Лукина, г. Зеленоград

Эл. почта: rlapshin@gmail.com

В статье предложены способы создания наиболее сложной в исполнении разновидности обнаруженной в Перу полигональной кладки. Эта кладка состоит из крупных каменных блоков весом от нескольких сотен килограмм до нескольких тонн, сопрягаемых друг с другом вплотную практически без зазора через сложные криволинейные поверхности большой площади. В работе даётся краткое описание приёмов, которые по-видимому использовали строители, прибывшие из Европы. Обсуждаемые приёмы базируются на применении уменьшенной глиняной модели, 3D-пантографа и реплик. Использование уменьшенной глиняной модели и пантографа обеспечивает не только оригинальный вид и высокое качество кладки из больших блоков, но и позволяет заметно повысить производительность труда строителей. Поскольку пантограф для работы с трёхмерными объектами известен с 18 века, то и рассматриваемые постройки следует датировать не ранее этого времени. Остальные более простые виды полигональной кладки, когда камни небольшие или сопрягаемые поверхности близки к плоскостям, или камни контактируют друг с другом по малой площади, или между камнями имеются значительные зазоры, вполне соответствуют известным способам обработки камня того и более раннего времени, и поэтому не требуют каких-то специальных объяснений.

Материал впервые опубликован 11 апреля 2021 г. в [блоге автора](#).

Ключевые слова: каменный блок, полигональная кладка, глиняная модель, пантограф, реплика, зубило, молоток, мегалит, Инки, Куско, Ольянтайтамбо, Мачу-Пикчу, Перу

Copyright © 2021 Р. В. Лапшин, лицензия Creative Commons Attribution

1. Введение

Полигональная кладка это разновидность кладки из природного камня. Камни, изначально имеющие произвольную форму, обрабатываются так, что образуют на лицевой стороне постройки плотно прилегающие друг к другу неправильные многоугольники (полигоны). Отметим сразу, что название “полигональная кладка” в большой степени условное. Дело в том, что существует множество построек, относимых к полигональным, в которых каменные “многоугольники” помимо прямолинейных содержат и криволинейные участки. К особенностям полигональной кладки относится то, что она не требует связующего раствора (сухая кладка). Полигональная кладка обладает достаточной прочностью и устойчивостью, чтобы выдерживать землетрясения средней силы.

В настоящей работе рассматриваются полигональные кладки в мегалитических постройках, расположенных на территории современного Перу. Основное внимание уделено кладкам, которые состоят из крупных каменных блоков весом от нескольких сотен килограмм до нескольких тонн, сопряжённых друг с другом практически без зазора через криволинейные поверхности большой площади. Остальные более простые виды полигональной кладки, когда камни небольшие или сопрягаемые поверхности близки к плоскостям, или камни контактируют друг с другом по малой площади, или между камнями имеются значительные зазоры, вполне соответствуют известным с древних времён способам обработки камня и поэтому никакого специального объяснения не требуют.

В целом полигональная кладка ни есть что-то небывалое, такая кладка известна в Европе с античных времён. В перуанском варианте поражает только качество выполненных криволинейных стыков, которое даже в наше время повторить непросто. Предложенные как со стороны научного сообщества,¹ так и со стороны энтузиастов^{2,3} способы изготовления перуанской полигональной кладки не объясняют всех наблюдаемых её особенностей и часто далеки от реальности.

Если внимательно присмотреться к форме камней в кладке, к местам их практически идеального сопряжения, то возникает ощущение того, что камни не обрабатывались механически, а были вылеплены. В связи с этим многие исследователи ошибочно решили, что камни вылепливались или отливались из некоей пластичной массы – искусственного гранита, бетона, извести, размягчённой нагревом горной породы и прочее.^{2,3} В этой связи сразу возникает вопрос: Зачем производить недешёвую пластичную массу, если вокруг полно уже готового к употреблению материала – природного камня произвольной формы? Ну и совсем непонятно: Зачем пластичной массе придавать такие сложные формы? Почему бы, например, не сделать каменные блоки вообще одинаковыми? Имеются и другие доводы против пластичной версии. Например, тыльная сторона многих блоков представляет собой рваный камень, отсутствуют затекания пластичной массы в межблоковые пространства внутри кладки и др.⁴

Предлагаемые автором способы изготовления полигональной кладки базируются на применении уменьшенной глиняной модели, 3D-пантографа⁵ и реплик. Основным инструментом обработки камня выступает молоток и стальное зубило. Использование уменьшенной глиняной модели и пантографа обеспечивает не только оригинальный вид и высокое качество кладки из больших блоков, но и позволяет заметно повысить производительность труда строителей. Только благодаря высокой производительности было возможно реализовать имеющиеся в Перу объёмы полигонального строительства. Поскольку пантограф для работы с трёхмерными объектами известен в Европе с 18 века, то и рассматриваемые полигональные постройки следует датировать, начиная с этого времени.

Так как к моменту завоевания Южной Америки европейцами индейцы не знали ни железных орудий, ни колеса, и не имели тягловых животных, то рассматриваемые постройки могли быть возведены только строителями, прибывшими из Европы. В отличие от индейцев строители эти обладали всеми необходимыми инструментами, механизмами и навыками масштабного строительства. Следы этого масштабного строительства из камня видны повсюду – католические соборы, монастыри, дворцы, виллы, масса городских и промышленных построек. Всякое масштабное строительство всегда подразумевает наличие соответствующей этому масштабу экономики. Поэтому в статье дополнительно объяснено, на чём базировалась экономика Перу тех лет.

2. Способы изготовления полигональной кладки

2.1. Перенос формы глиняной модели на каменную заготовку с помощью пантографа

На первом этапе в соответствии с эскизом в уменьшенном масштабе изготавливалась глиняная модель постройки, блоки которой образуют полигональную кладку. Пусть для определённости постройкой является просто стена. Из глины вылепливались небольшие полигональные блоки задуманной формы. Размеры этих блоков соответствовали размерам, скажем, баскетбольного мяча или около того. Места сопряжения поверхностей формировались вдавливанием блоков друг в друга.

Из сырых модельных блоков собиралась модель стены. В ходе сборки между блоками прокладывался материал, препятствующий слипанию блоков в процессе сушки-затвердевания. Чтобы уменьшить влияние усадки, вначале сушился нижний ряд, затем следующий за ним и т. д. При необходимости стене придавался требуемый наклон. В процессе сушки-усадки модельные блоки досопрягались более точно под собственным весом и с небольшими правками строителя.

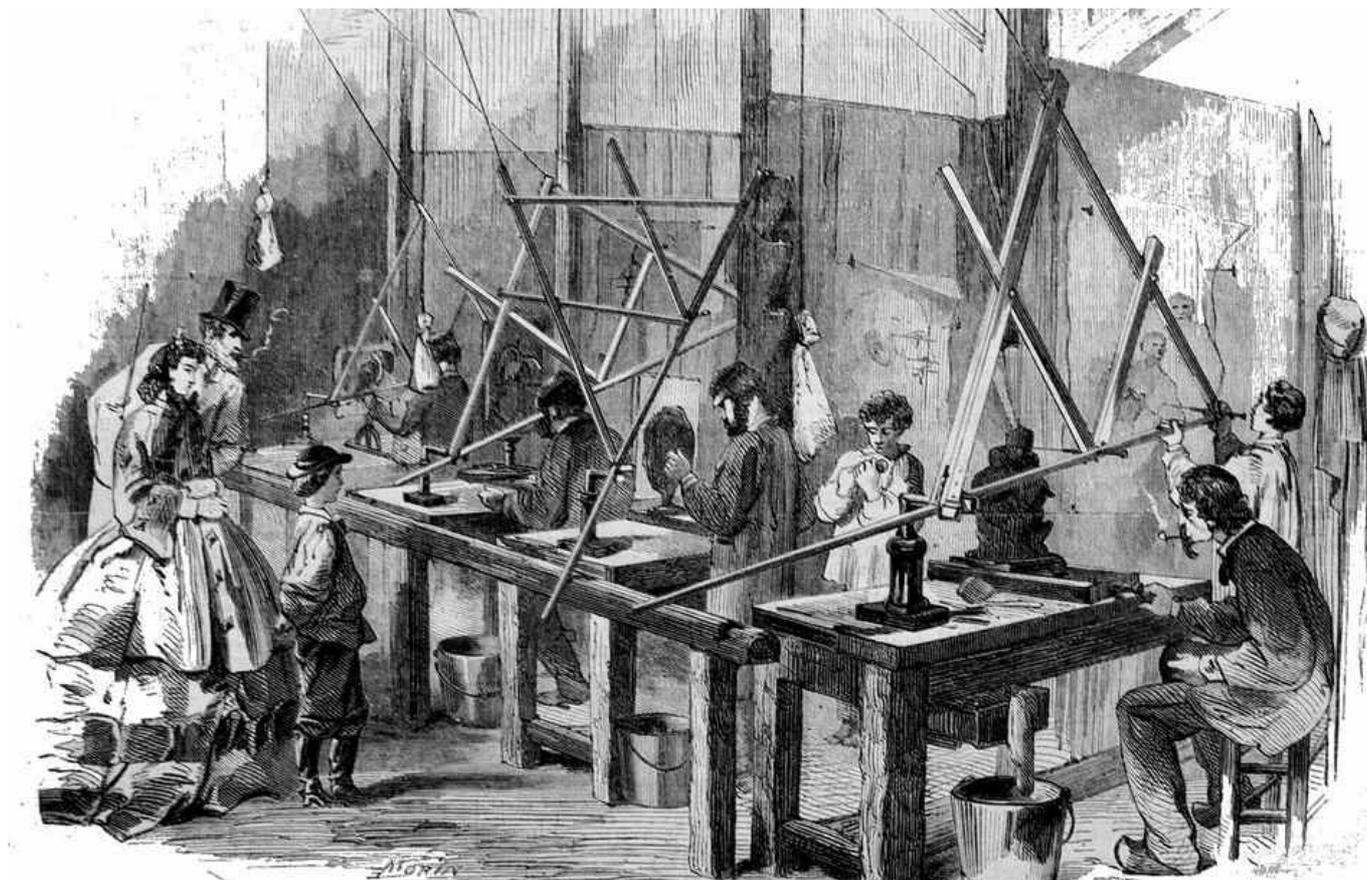
После затвердевания модели стены, стена разбиралась. Теперь начиналась “магия”. Средневековые европейские строители с помощью 3D-пантографа,⁵ молотка и стального зубила переносили с заданным масштабом рельеф поверхности с небольшого модельного глиняного блока на большую каменную заготовку, подходящих размеров и формы.



Рис. 1. Современный 3D-пантограф (автор фотографии М. Keropian)

Пантограф представляет собой простое рычажное устройство, в основе которого лежит параллелограммный механизм. 2D-пантограф, позволяет пропорционально увеличивать/уменьшать плоский рисунок.⁶ Несколько более сложный 3D-пантограф⁷ (см. Рис. 1), являющийся логическим развитием 2D-пантографа, позволяет пропорционально увеличивать/уменьшать объёмную фигуру, например, статую. В нашем случае с помощью 3D-пантографа получали увеличенную копию небольшой глиняной модели блока, обрабатывая молотком и зубилом каменную заготовку.

Параллелограммный механизм расположен на стреле 3D-пантографа. Стрела крепится к раме с помощью шаровой опоры (см. Pivot на Рис. 1). Стрела снабжена противовесом. На



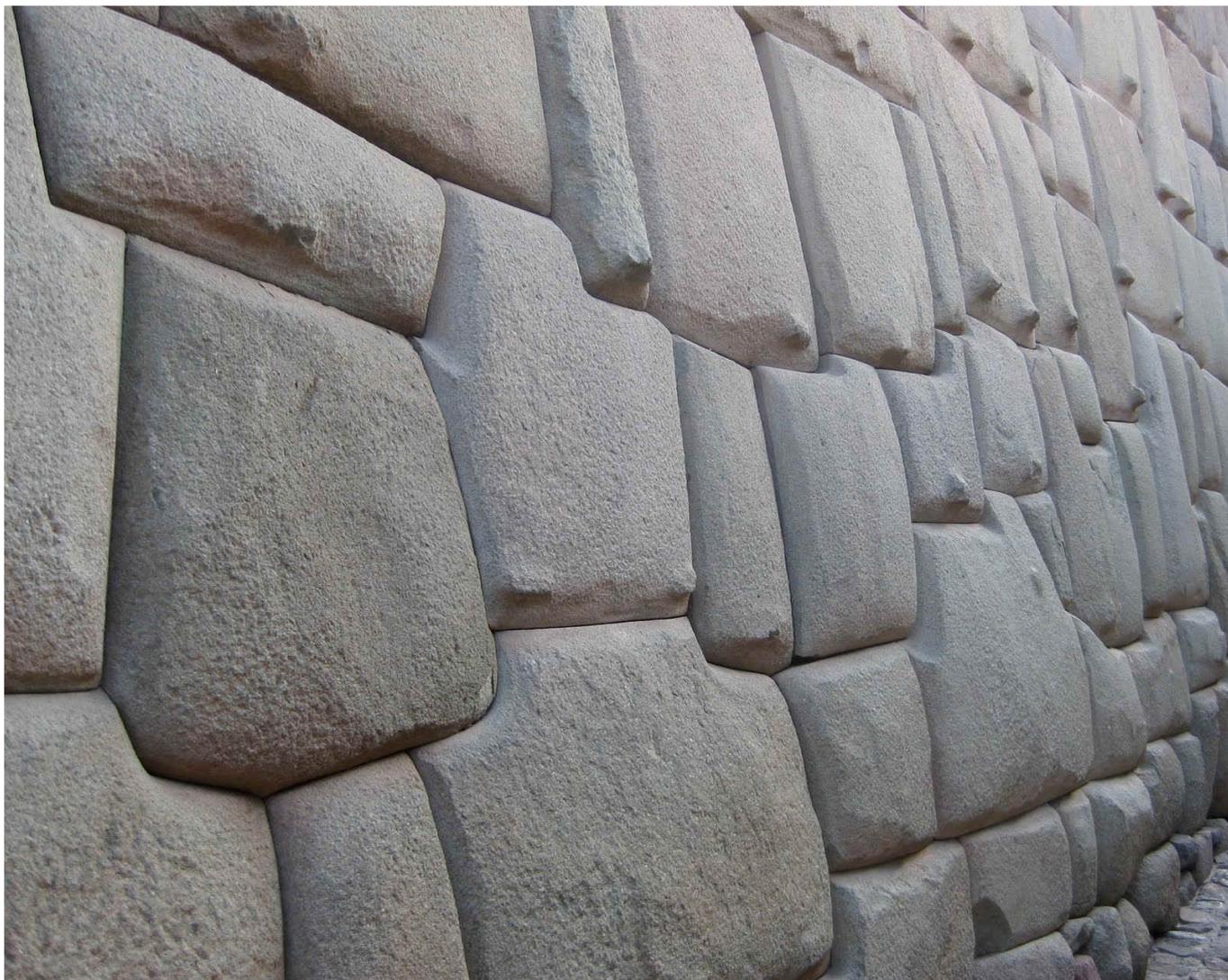
Мастерская 19 века по копированию статуй с помощью 3D-пантографа

одном плече параллелограммного механизма закреплён острый щуп (Pointer A), на другом – указатель (фактически такой же щуп; Pointer B на Рис. 1). Если коснуться щупом глиняной модели, то указатель покажет, где в пространстве находится соответствующая точка увеличенной копии. Коэффициент увеличения задаётся должной установкой плеч рычажной системы. Модель и её увеличенная копия располагаются каждая на своей поворотной платформе (Table A и Table B, соответственно). Платформы благодаря цепной передаче можно синхронно поворачивать вокруг их вертикальных осей, подставляя под щуп/указатель разные стороны объекта.

Минимальный размер модельного глиняного блока зависел от размера изготавливаемого каменного блока и, в конечном счёте, определялся погрешностью работы механизма пантографа. Размер модельного блока также определялся тем, насколько удобно управлять с таким блоком (лепить, править, переносить, устанавливать, сдвигать, переворачивать и т. п.) одному-двум работникам. Современные 3D-пантографы, используемые скульпторами⁷ (см. Рис. 1), позволяют увеличивать модель объекта до 6 раз. Таким образом, по глиняной модели блока размером, скажем, $50 \times 50 \times 50 \text{ см}^3$, которую для облегчения можно сделать пустотелой, с помощью не самого большого пантографа возможно обрабатывать каменные блоки размером до $3 \times 3 \times 3 \text{ м}^3$.

После указанного копирования с заданным масштабом стена из каменных блоков без каких-либо существенных подгонок собиралась с использованием катков, рычагов, блоков, лебёдок и примитивных кранов того времени.

Предложенный способ переноса геометрии с небольшой глиняной модели на большой каменный блок с помощью 3D-пантографа не требует детальной прорисовки геометрии блока. Строителю требуется фактически руками приблизительно вылепить желаемое сопряжение модельных блоков в соответствии с общей задумкой на эскизе, затем заложить этот блок в модельную стенку, где блок окончательно под собственным весом и с небольшими правками строителя досопрягается с соседними модельными блоками. Никакие точные размеры выдерживать не нужно.



Куско (автор фотографии А. Kuusivaara, 2017)

2.2. Использование реплик

Не очень сложные сопряжения крупных блоков выполнялись с использованием реплик. Из глины выдавливался/раскатывался “блин” постоянной толщины. Сырой блин укладывали на каменный блок, реплику поверхности которого нужно было изготовить. После затвердевания реплику-блин снимали. Периодически прикладывая полученную лёгкую реплику-блин к каменному блоку, предназначенному для изготовления ответной части кладки, постепенно удаляли в нужных местах лишний материал до полного прилегания реплики к блоку.

Если требовалась бóльшая точность передачи рельефа, чем та, что обеспечивается репликой-блином, то изготавливалась реплика реплики. Вначале, приложив кусок сырой глины к выбранному участку каменного блока, делали отпечаток его поверхности. После затвердевания полученной репликой делали ещё один отпечаток в сырой глине. После сушки реплику реплики использовали далее в качестве копии поверхности каменного блока при изготовлении ответной части каменной кладки.

В другом способе по периметру выбранного участка каменного блока устанавливали бортик из глины, после чего образовавшуюся емкость заполняли гипсом. После затвердевания полученной репликой делали отпечаток в сырой глине или, установив бортик, заполняли образовавшуюся емкость гипсом (поверхность гипсовой формы предварительно покрывалась составом, препятствующим схватыванию заливаемого гипса с гипсовой формой). После сушки полученную реплику реплики использовали далее в качестве копии поверхности каменного блока при изготовлении ответной части каменной кладки.



Куско (автор фотографии Gvillemin, 2008)

Преимущество реплики состоит в том, что по образцу (реплике) обрабатывается только одна из сопрягаемых поверхностей смежных блоков, исходная поверхность обрабатывается произвольно (независимо). В отличие от реплики в методе с пантографом необходимо по образцу (модели) обрабатывать обе сопрягаемые поверхности, произвольно обрабатываемых поверхностей нет.

2.3. Основная проблема

Что вынужден постоянно делать каменщик при изготовлении блоков, стыкующихся друг с другом по сложному профилю? Каменщик вынужден постоянно прикладывать один камень к другому, чтобы определять места, где следует удалить лишний материал. Когда камни небольшие, сделать это не сложно. Но, как это сделать, когда вес камней составляет сотни килограмм и тонны? Предложенные способы как раз и позволяют решить данную проблему – многократно перемещать тяжёлый ответный блок более не требуется.

2.4. Зачем ещё была нужна глиняная модель объекта?

Всегда крайне полезно иметь небольшую модель объекта, состоящего из множества деталей сложной формы, соединяемых друг с другом сложным образом; покрутить каждый блок в руках; точнее оценить пропорции; править блоки, если что-то не понравилось в их форме или сопряжении; собирать/разбирать модельную стену, чтобы проверить принципиальную возможность сборки объекта, содержащего замковые элементы; собирать/разбирать модельную стену, чтобы проанализировать операции по перемещению, монтажу и установке тяжёлых каменных блоков; видеть заранее, как будет выглядеть объект после окончания строительства. Ведь в те времена у архитекторов и строителей не было компьютеров, чтобы поворачивать деталь в пространстве на экране монитора или, создав виртуальную реальность, побродить по задуманному объекту задолго до его постройки. Даже в наше время изготовление макетов в архитектуре и планировании не потеряло своей актуальности.



Куско (автор фотографии С. Н. Козинцев)

Как известно, регион, где использовалась полигональная кладка, является сейсмоопасным.⁸ Поэтому, создав модель постройки с замковыми блоками и встряхнув её, можно было увидеть, как поведёт себя объект при землетрясении, после чего при необходимости внести в проект соответствующие исправления. Других способов тогда просто не существовало, расчёты были грубыми, а интуиция и опыт могли подвести.

На верхних гранях ряда каменных блоков обращают на себя внимание характерные выемки под основания блоков, устанавливаемых сверху. Некоторые из этих выемок охватывают два и даже три соседних блока, обеспечивая тем самым перевязку блоков. Данные выемки в соответствии с принципами устойчивого равновесия обеспечивают возвращение блоков в исходное положение в случае их небольшого горизонтального смещения во время землетрясения. Рассматриваемые выемки в верхних гранях блоков и соответствующие им выступающие части в нижних гранях устанавливаемых сверху блоков закладываются на этапе лепки глиняной модели.

Так как глиняная модель стены строится снизу вверх и сушится ряд за рядом, то, по идее, неглубокие выемки должны возникать естественным образом в основании модельных блоков, которые будучи более мягкими (сырыми) давят своим весом на более твёрдые (сухие) блоки, расположенные под ними. Имеющиеся к настоящему моменту материалы не позволяют с уверенностью подтвердить или опровергнуть наличие такого рода выемок.

2.5. Каковы преимущества пантографа в сравнении с репликой?

Когда мы прикладываем реплику к обрабатываемой поверхности со сложным протяжённым рельефом, мы не видим чётко, в каких местах и сколько материала следует удалить. Поэтому при работе с репликой приходится чем-то эту реплику окрашивать, скажем, ме-



Куско (автор фотографии С. Н. Козинцев)

лом или угольком, и, приложив к обрабатываемому участку поверхности, слегка елозить, чтобы отметить места выборки материала. Вспомните, что делает стоматолог после пломбировки зуба. Он кладёт на пломбу кусочек копировальной (карбоновой) бумаги и просит, закрыв рот, чуть-чуть пожевать её зубами. После чего убирает немного материала пломбы в окрашенном месте. И так повторяет несколько раз, пока зубы при смыкании не займут привычного положения.

При работе с пантографом к глиняной модели прикладывается острый щуп (Pointer A), а к обрабатываемой поверхности заготовки подводится указатель (Pointer B), механически связанный со щупом посредством параллелограммного механизма. В отличие от реплики из-за малой площади щупа и указателя измерение рельефа фактически осуществляется в точке поверхности, причём хорошо видно в какой именно, вся поверхность полностью открыта.

Более того, пантограф позволяет чётко определить толщину удаляемого материала в любой точке, на которую направлен указатель. Следовательно, убирать лишний материал можно за существенно меньшее число попыток. Всё это ведёт к резкому росту производительности. Наибольшая производительность достигается при работе на пантографе двух человек. Один указателем пантографа показывает место (точку) на каменной заготовке и называет толщину удаляемого в этом месте материала, а другой с помощью молотка и зубила убирает указанное количество материала.

Другим преимуществом пантографа в сравнении с репликой является то, что прикладывать практически невесомый щуп (устройство сбалансировано противовесом) к глиняной модели блока значительно быстрее и легче, чем прикладывать сравнительно тяжёлую реплику к каменной заготовке, и затем этой репликой ещё немножко елозить.

Также пантограф позволяет легко выдерживать задаваемые архитектором пропорции, что при применении реплик придётся делать на глазок, долго подбирая заготовки подходящих размеров. Представьте, что вам требуется точно вписать постройку в какой-то неизменяемый или трудно изменяемый габарит, скажем, между двумя скальными выходами



Куско (автор фотографии R. Mortari, 2013)

или в пещеру. Для этого достаточно измерить расстояние между скальными выходами, размер модели, разделить первое на второе и полученный коэффициент увеличения задать в пантографе.

Что ещё даёт использование глиняных модельных блоков и пантографа? Пусть требуется внешнюю сторону стены изготовить с наклоном. Для этого достаточно положить сырую глиняную модель стены на тыльную сторону, установить упоры, задающие необходимый наклон, сверху на лицевую сторону положить плоскую поверхность, на которой разместить подходящего веса грузы. Вместо грузов можно использовать стягивающие струбицы. Через некоторое время глиняная модель стены деформируется должным образом. Заданный угол в таком способе можно выдерживать очень точно на всём протяжении стены.

Ещё одно преимущество пантографа заключается в том, что, установив на него каменную заготовку, можно быстро подобрать подходящую для этой заготовки глиняную модель блока. Данная возможность крайне полезна именно в случае полигонального типа кладок, так как в таких кладках блоки часто имеют сложную форму, что при подборе заготовки требует множества предварительных обмеров.

2.6. Обратный подход: создание глиняной модели по каменной заготовке, изготовление поверхности сопряжения и её перенос на каменную заготовку

Выше описывался способ, при котором вначале по эскизу создавалась модель, а затем под каждый блок модели подбиралась каменная заготовка. Такой способ позволяет повторять помногу раз участок стены (при необходимости в разном масштабе), используя каждый раз одну и ту же глиняную модель. Недостатком способа является большой объём скальываемого материала каменной заготовки. Анализ показывает, что в основном для полигональной кладки использовали обратный способ.

В обратном способе вначале по имеющейся каменной заготовке произвольной формы с помощью пантографа создаётся её уменьшенная глиняная модель. Для этого кусок сырой

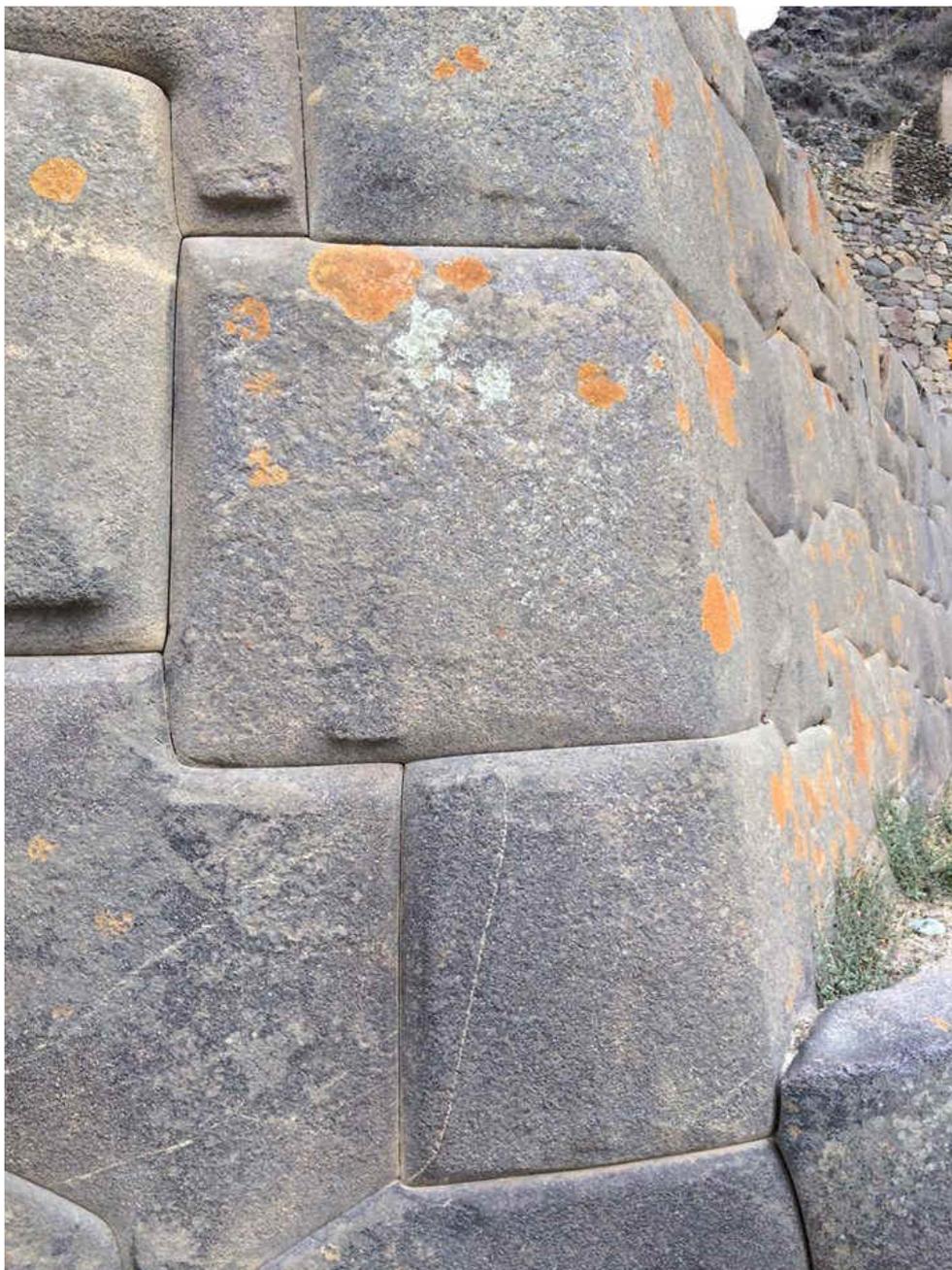


Ольянтайтамбо (авторы фотографии С. Jansen, М. Dürker, 2016)

глины насаживается на заострённый, скажем, четырёхгранный металлический штырь, расположенный в центре предназначенной для модели поворотной платформы (Table A на Рис. 1). Благодаря такому штырю, модель в любой момент можно снимать с пантографа и точно возвращать на прежнее место. В тех местах модели, где глины не хватает, она добавляется. Удаление излишков глины выполняется непосредственно металлическим указателем пантографа (Pointer A на Рис. 1), щуп которого (Pointer B) движется по поверхности каменного блока вертикально то вверх, затем небольшой поворот платформы с заготовкой (Table B) вокруг вертикальной оси, то вниз, снова небольшой поворот, снова вверх и т. д.⁷ Благодаря пантографу создание основы глиняной модели не занимает много времени.

На следующем этапе из полученных глиняных модельных блоков складывают прототип стены. Блоки пока не имеют специально изготовленных посадочных поверхностей. Исходя из размеров и формы блоков, каждому блоку в прототипе стены определяется его местоположение. Архитектор-строитель приблизительно размечает на глиняной модели стены контуры будущих сопряжений, которые должны: отражать задуманный стиль, обеспечивать устойчивость создаваемой полигональной кладки, минимизировать затраты труда на обработку посадочных поверхностей. Далее согласно выполненной разметки глина выбирается в тех местах модельных блоков, которыми они будут примыкать друг к другу.

Теперь из полученных модельных блоков собирается модель стены. Небольшими правками блоки точнее досопрягаются друг с другом. Если в ходе манипуляций модель блока случайно попортили, то форму модели в любом её месте всегда можно восстановить, поместив модель блока обратно в пантограф (на указанный выше штырь) и сравнив с фор-



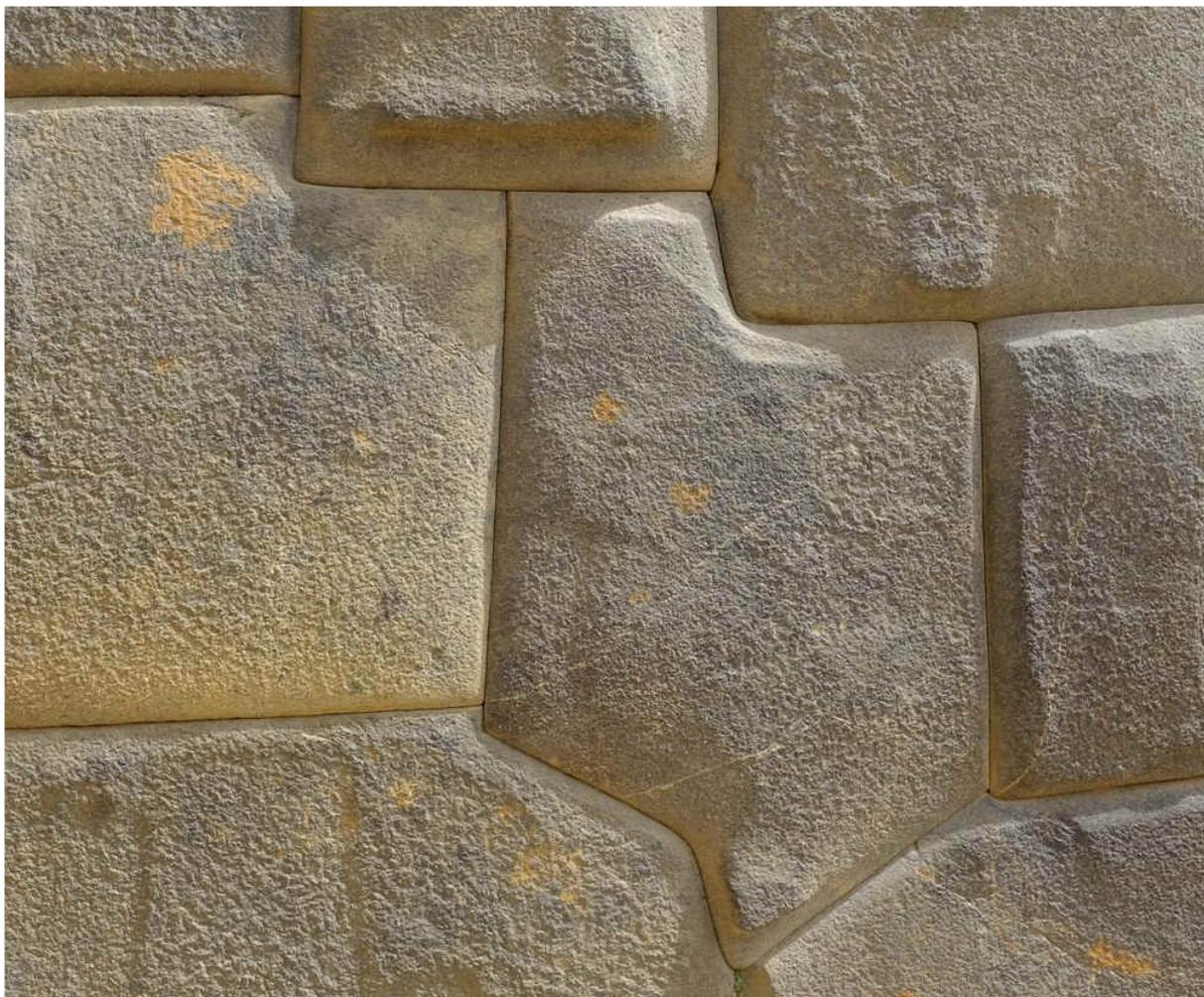
Ольянтайтамбо (автор фотографии В. Everett)

мой исходной каменной заготовки. Далее стена сушится. В начале сушится нижний ряд, затем следующий за ним и т. д. В процессе сушки-усадки модельные блоки досопрягаются более точно под собственным весом.

На последнем этапе модельную стену разбирают. Глиняную модель блока устанавливают обратно в пантограф (на указанный выше штырь) и с помощью молотка и зубила переносят посадочные места на соответствующую этому модельному блоку каменную заготовку.

2.7. Ещё несколько преимуществ пантографа

Использование уменьшенной глиняной модели и пантографа позволяет изготавливать блоки прямо в карьере, где происходит добыча камня. В результате из карьера на стройплощадку везут уже готовые каменные блоки. Данный подход заметно сокращает веса транспортируемых блоков и уменьшает объём перевозок в целом. Кроме того, при такой организации на стройплощадке не возникает большого количества строительного мусора, который тоже потом нужно куда-то транспортировать с места строительства.



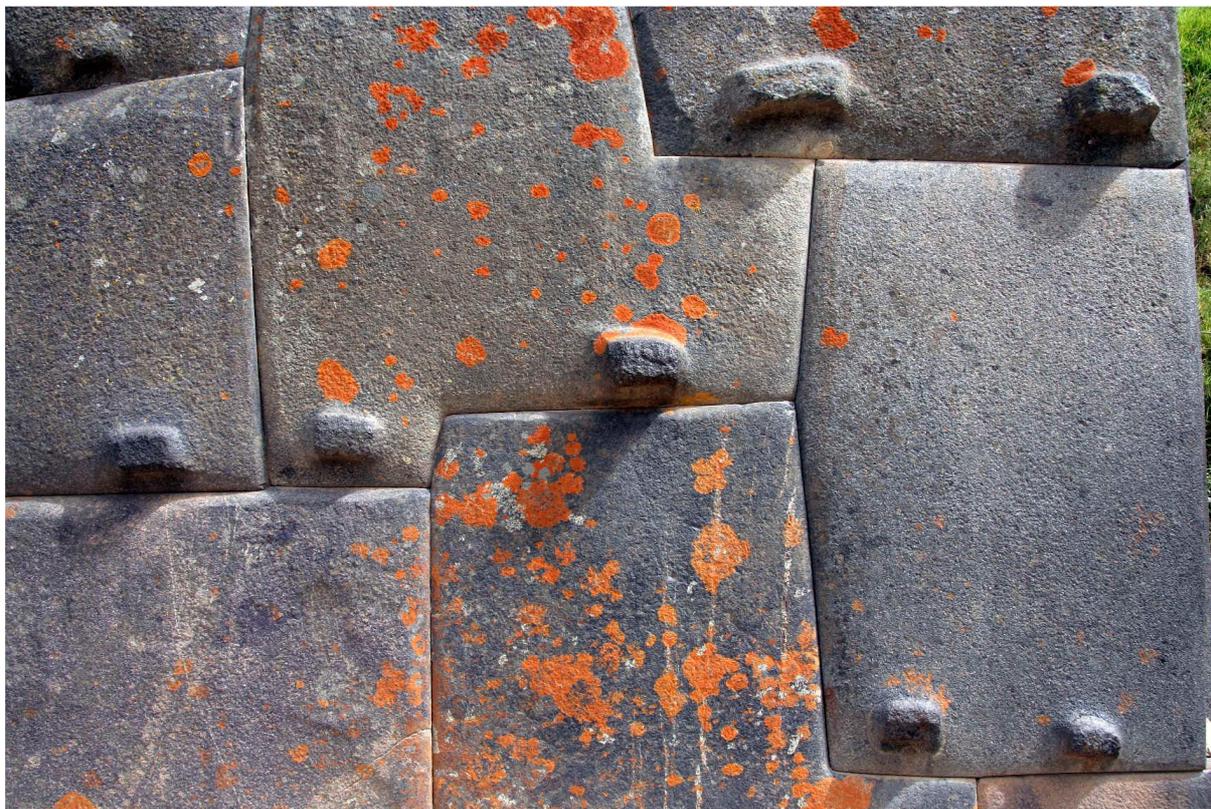
Ольянтайтамбо (автор фотографии С. Boudou, 2013)

И в способе с пантографом, и в способе с репликами используются вспомогательные элементы. В способе с пантографом это глиняные модельные блоки, в способе с репликами это сами реплики. Для стыковки каменных блоков в способе с репликами боковая поверхность блока должна быть разбита на несколько перекрывающихся участков, для каждого из которых требуется своя реплика. Если теперь мысленно приставить к боковой поверхности некраевого каменного блока все сделанные для него и по нему реплики, то получится некое подобие колеса, т. е. достаточно массивное образование. Если используется реплика реплики, то таких “колёс” будет уже два. Таким образом, в методе реплика реплики для каждого некраевого блока потребуется изготовить по одному “колесу” из реплик. Давайте теперь сравним такое “колесо” из реплик с небольшими модельными блоками в методе, базирующемся на пантографе. Преимущества пантографа очевидны.

2.8. Метод, сочетающий элементы методов реплики, глиняной модели и 3D-пантографа

Вначале на месте будущей постройки устанавливается каждый второй каменный блок первого ряда. Пустые позиции между этими блоками займут блоки, которые на следующем этапе будут подгоняться с использованием глиняной модели и пантографа под эти первоначально установленные блоки. Поверхности оснований первоначально установленных каменных блоков предварительно обрабатываются должным образом для придания им устойчивости.

Помимо подготовленного основания первоначально установленные блоки также имеют окончательно обработанные боковые грани. Обработка боковых граней представляет собой спрямление с помощью молотка и зубила сложной исходной формы каменной заготовки близкими к плоскостям поверхностями. Грани первоначально установленных бло-



Ольянтайтамбо (автор фотографии В. Foerster, 2009)

ков справа и слева от основания по возможности должны иметь положительный наклон к основанию, чтобы облегчить последующую установку примыкающих блоков между ними. Аналогичное правило распространяется далее для каждого второго блока последующих рядов полигональной кладки.

Теперь пространство между первоначально установленными блоками заполняется глиной. Фактически в промежутках между первоначальными блоками создаются глиняные модели блоков в масштабе 1:1. Боковые поверхности этих моделей, контактирующие слева и справа с боковыми поверхностями первоначальных блоков, по сути являются их репликами. Для облегчения глиняных моделей и уменьшения усадочных деформаций во время сушки модели выполняются пустотелыми.

После сушки глиняная модель блока извлекается из постройки и устанавливается в пантограф на место модели (Table A). На место копии (Table B) устанавливается соответствующая каменная заготовка. Пантограф настраивается на масштаб 1:1 (размещение модели и копии в пантографе при таком масштабе определяется только удобством работы). В случае необходимости с помощью пантографа можно быстро проверить – насколько хорошо по размерам подходит выбранная каменная заготовка к данной модели.

Далее поверхности сопряжения с помощью пантографа, молотка и зубила переносят с глиняной модели на каменную заготовку так, как описывалось выше. После переноса поверхностей сопряжения на оставшейся боковой поверхности каменной заготовки формируют остальные (произвольные) грани этого блока. Обработка этих граней представляет собой спрямление сложной исходной формы каменной заготовки близкими к плоскостям поверхностями. В дальнейшем эти грани больше обрабатываться не будут.

Полученный таким путём каменный блок окончательно устанавливают на своё место полигональной кладки. Закончив первый ряд, аналогичным образом изготавливают следующий. Для лучшей вертикальной перевязки блоков, каждый второй блок предыдущего ряда по высоте следует стремиться доводить примерно до середины следующего ряда.



Ольянтайтамбо (автор фотографии Р. Adams, 2012)

В описанном методе, как и в ранее предложенных, используются каменные блоки произвольной формы. Поскольку в данном методе нет полноценной глиняной модели постройки, то, чтобы хорошо скомпоновать исходные каменные блоки и тем самым минимизировать количество скалываемого материала при обработке, каменные блоки желательно предварительно выложить на земле тыльной стороной вниз один подле другого.

К недостатку метода следует отнести высокую трудоёмкость, связанную с изготовлением глиняной модели блока в масштабе 1:1. Тем не менее, в сравнении с методом реплики реплики, данный метод в состоянии обеспечить заметно более высокую точность сопряжения контактирующих поверхностей, когда таковая необходима. Как и в случаях с репликами, примерно половина боковой поверхности каменных блоков в данном методе обрабатывается произвольно.

2.9. “Планетарный” пантограф

Современные пантографы, используемые скульпторами, имеют две синхронно поворачивающиеся платформы. На одной платформе (см. Table A на Рис. 1) установлена модель, на другой (Table B) – её увеличенная копия. Обычно увеличенная копия пустотелая, от чего вес копии, как правило, невелик. Платформа такого пантографа при применении его в строительстве сможет выдержать каменные заготовки весом до примерно 700 кг. Когда заготовки имеют большие размеры и большой вес, модель можно разделить на несколько частей. Для каждой такой части можно изготовить её увеличенную копию, после чего из полученных увеличенных копий собрать одну большую копию. Но это не наш случай.

Современный пантограф для работы с большими и тяжёлыми заготовками не подходит. Вместо существующей конструкции можно предложить следующий “планетарный” пантограф. Тяжёлая заготовка в таком пантографе устанавливается просто на ровную площадку, а рама, к которой крепятся стрела пантографа и платформа с моделью, поворачивается в процессе работы в горизонтальной плоскости вокруг неподвижно стоящей заготовки. По мере поворота рамы модель также поворачивается вокруг своей вертикальной оси на необходимый угол (сохраняет исходную ориентацию в пространстве) с помощью соответствующего механизма. Одному обороту точки опоры (Pivot на Рис. 1) стрелы пантографа вокруг заготовки соответствует один оборот модели вокруг своей оси.

В отличие от существующего пантографа планетарный пантограф занимает больше места, а использующий пантограф человек вынужден перемещаться по мере работы вместе



Ольянтайтамбо (автор фотографии А. Fuchs, 2008)

с поворачивающейся рамой вокруг заготовки. Эти особенности можно отнести к недостаткам планетарного пантографа, которые, впрочем, вовсе не критичны в строительном деле.

2.10. Выпуклость лицевой стороны блока, наплыв в нижней части, заострения в местах тройных стыков

Характерная выпуклость лицевой поверхности блоков, а также наличие наплыва в нижней части блоков (не путать с боссами/сосцами), обнаруживаемые в некоторых постройках, часто служат одним из доказательств “бетонной” и “пластичной” версий изготовления полигональной кладки. Согласно “бетонной” версии² блоки отливались из бетона, согласно “пластичной” версии³ использовалась размягчённая в результате нагрева каменная масса. В “бетонной” и в “пластичной” версиях не до конца затвердевшие блоки укладывались друг на друга. В результате межблочные зазоры в полигональной кладке смыкались под действием собственного веса этих блоков.

В предлагаемом способе оба признака – выпуклость и наплыв могут сами собой появиться на стадии изготовления глиняной модели стены, если глиняный замес не достаточно густой и не используется какой-то ограждающей конструкции с лицевой и тыльной сторон. Выпуклость и наплыв также могут быть изготовлены намеренно в процессе лепки глиняной модели.

Скорее всего, выпуклость и наплыв придавались блокам намеренно. Обе особенности усиливают ощущение массивности, грандиозности постройки, её колоссального веса; нам кажется, будто камни сплющиваются под огромной тяжестью. Выпуклость была также призвана продемонстрировать наивным индейцам могущество прибывших белых, способных при необходимости “вылепливать” постройку из громадных твёрдых камней, словно из теста.

Отметим, что с помощью предложенного способа также можно получать большие блоки из бетона, искусственного гранита и других материалов путём отливки в форму. Исполь-



Рис. 2. “Клювики” и ступеньки

зую пантограф, уменьшенную глиняную модель блока увеличивают до нужного размера. Увеличенная копия из глины для облегчения веса делается пустотелой. Далее по увеличенной глиняной копии изготавливается литевая форма.

В местах, где стыкуются три смежных блока, хорошо видны заострения (“клювики”/ступеньки, см. Рис. 2). Эти элементы создаются в процессе лепки глиняной модели и затем переносятся с помощью пантографа на каменный блок. Помимо упора, ограничивающего перемещение смежного блока в горизонтальной плоскости, клювики/ступеньки придают полигональной кладке особое изящество. Клювики вместе с параллельностью плавно изменяющихся криволинейных кромок должны были по замыслу создателей придать ощущение лёгкости работы с камнем. Эти особенности заставляют зрителя думать, что блоки буквально вылеплены из камня. И надо отдать должное старым мастерам, этот приём им удался!

Учитывая сказанное выше, вместо термина “полигональная кладка” будет вполне справедливо использовать термин “полигональная скульптура” в тех случаях, когда каменная



Ольянтайтамбо (автор фотографии В. Everett)

постройка создаётся на основе ручной лепки глиняной модели, выполненной в определённом художественном стиле с уникальными замковыми сопряжениями между блоками.

2.11. Косвенная датировка по наблюдаемым разрушениям элементов кладки

Одно из слабых в смысле прочности мест полигональной кладки это клювик. Поэтому клювики должны разрушаться в ходе естественного процесса выветривания в первую очередь. Многие камни в Перу покрыты лишайником, поэтому при оценке скорости разрушения камня помимо выветривания должен также учитываться и биологический фактор. Удивительно, но в горах (Куско, Мачу-Пикчу, Ольянтайтамбо и др.), где климат характеризуется резкими перепадами температуры ($15-20^{\circ}\text{C}$) в течение суток, большим количеством осадков и заморозками зимой (июнь-август),⁹ рассматриваемая в статье разновидность полигональной кладки прекрасно сохранились.

Помимо выветривания причиной разрушения клювиков может быть сдвиг камней в кладке при оползневом смещении склона или при землетрясении⁸. Следует отметить, что сколы клювиков могли возникнуть и в процессе изготовления каменных блоков, и при их транспортировке, и во время установки, и при реставрации. Некоторые из таких сколов можно частично исправить. Исправленные клювики будут выглядеть более утопленными в тело кладки, чем нормальные.

Изучение полигональных кладок из твёрдых пород (гранит, андезит, базальт) показывает, что разрушения клювиков имеются, но этих разрушений мало. Отсутствие заметных разрушений при достаточно суровых климатических условиях и высокой сейсмической активности в Перу, дают основание утверждать о сравнительно недавней постройке мегалитических комплексов. Оцениваемый срок существования построек составляет порядка 300 лет.



Ольянтайтамбо (автор фотографии И. Отыкало, 2015)

2.12. Как доказать? Что и где следует искать?

Что может служить подтверждением предлагаемых способов изготовления полигональной кладки? На территории или вблизи комплексов с полигональной кладкой или в карьерах должен сохраниться строительный мусор, в котором следует искать обломки глиняных моделей блоков и обломки глиняных/гипсовых реплик. Конечно, прежде всего нужно ознакомиться с материалами, проводившихся раскопок. Возможно, какие-то подходящие по форме, размерам и материалам обломки уже были найдены и задокументированы.

Если предположить, что в пантографе, используемом строителями, глиняная модель и каменная заготовка располагались также, как и в современном пантографе, т. е. горизонтально тыльной стороной вниз, то следы от зубила на боковой поверхности каменных блоков должны проходить справа на лево (зубило в левой руке, молоток в правой) и сверху вниз (в начале следа углубление больше, чем в конце). Сами следы должны представлять собой короткие параллельные штришки, расположенные вертикальными столбцами.

Следы от зубила нужно искать на каменных блоках из твёрдых пород – гранит, андезит, базальт. Мягкие породы камня, такие как известняк, имеют высокую пористость; поверхностный слой этих камней быстро разрушается выветриванием. Кроме того, следы от зубила на поверхности известняка легко сглаживаются в ходе последующей операции обстукивания. Поверхности сопряжения каменных блоков из твёрдых пород, которые пролежали под открытым небом вне кладки неизвестно сколько лет, также нет смысла изучать по причине выветривания. Для анализа поверхности сопряжения следует брать камни из какой-то нетронутой кладки с минимальными зазорами, в которые могло попадать очень незначительное количество влаги.

2.13. Датировка

Если принять версию с пантографом, то можно датировать постройки “невероятно” древних Инков, годами изобретения/постройки пантографов европейцами. Пантограф для работы с плоским рисунком известен с 1603 года.⁵ Сведения о пантографе для работы с трёхмерными объектами появляются где-то во второй половине 18-го века.⁵ Здесь следует принять во внимание тот факт, что мастера в те времена не спешили раскрывать свои профессиональные секреты. Поэтому описание устройства 3D-пантографа и приёмов ра-

боты с ним могло появиться в открытой печати спустя десятки лет после своего изобретения и активного использования. Судя по тому, как долго просуществовала загадка создания полигональной кладки, мастера-каменщики умели хранить свои секреты.

2.14. Кто строил, когда и на какие средства?

Проблема с постройками, выполненными на основе полигональной кладки, состоит в следующем. Официальная история утверждает, что постройки существовали до прибытия европейцев в Новый Свет в 16 веке, и американские индейцы не знали на тот момент ни железных орудий, ни колеса и не имели тяговых животных. Из такой постановки следует один единственный вывод: постройки возведены, какой-то более древней цивилизацией, существовавшей в Америке до индейцев, но по культуре работы с камнем соответствующей в целом европейской строительной культуре 16-17 века.

Проблема с этой мифической более древней цивилизацией состоит в том, что она не оставила после себя никаких иных материальных свидетельств своего существования за исключением безупречно выполненных каменных построек. Как справедливо отмечено в работе 4, качественная полигональная кладка и сооружения на её основе мгновенно (по историческим меркам) возникают как бы из неоткуда, а затем также мгновенно в никуда исчезают. Нет ни предшествующего, ни последующего заметного развития архитектуры и технологии построек. А ведь такое происходит только тогда, когда на некоторую территорию на короткий срок, скажем, на 10 лет, заезжает группа строителей-профессионалов со своими инструментами, приспособлениями и приёмами строительства.

Быстротечность событий, происходивших в строительной сфере тех лет, указывает на высокую производительность труда строителей-гастролёров и их методов строительства. Перечисленные противоречия моментально разрешаются, если авторами построек станут заезжие европейские строители,^{10, 11, 12} а время возведения построек переносится из минус бесконечности в 17-18 век. Для доставки, перемещения и грубой обработки камней, укрепления склонов и прочих тяжёлых и не требующих никакой квалификации работ, разумеется, нагонялся местный индейский люд по приказу подчинившихся/купленных Испанцами индейских вождей. Таким образом, перуанские мегалитические комплексы являются в определённом смысле постройками и Инков тоже, хотя и не столь древних.

Всякое большое строительство всегда опирается на какую-то крепкую экономическую основу. Трудно себе представить, чтобы мегалитические комплексы для индейцев возводились за счёт испанцев. Безусловно, эти комплексы создавались за счёт индейцев и на костях индейцев. Но, что могли предложить индейцы испанским колонизаторам? То золото и серебро, которое имелось у индейцев, было захвачено в первые годы завоевания и увезено в Европу. Родить много хлопка, сахарного тростника или зерна перуанская земля была не в состоянии.

Раз золото и серебро у индейцев на момент завоевания имелось, значит, где-то они его брали. Поэтому испанцами была организована добыча золота и серебра в рудниках и на приисках. А, чтобы работа в копях шла веселее, туземное жречество вдохновляло индейцев видом и грандиозностью мегалитических храмов, которые возводились за счёт части средств, полученных от добычи драгметаллов. Через несколько десятков лет легкодоступные месторождения золота и серебра иссякли, и строительство мегалитических комплексов остановилось. К этому моменту власть Испанцев и католической церкви как-то незаметно усилилась, а численность индейцев каким-то “непостижимым” образом сильно подсократилась.

То ли питались горняки скверно, то ли жизнь в лачугах не прибавляла им здоровья, то ли места “силы” уже не компенсировали сил, забираемых истощающей работой в рудниках, история это умалчивает. В общем, наступило время, когда заброшенные культовые постройки индейцев можно было, наконец, без особых проблем пустить в дело. И эти по-

стройки пошли в дело. Каменные блоки и части построек использовали для возведения католических соборов, монастырей, дворцов, вилл и городских зданий.

3. Обсуждение

Среди видеоматериалов по теме следует отметить работу 3, автор которой предложил использовать уменьшенную гипсовую модель каменного блока, а перенос сложной геометрии поверхности и её масштабирование выполнять по нескольким опорным точкам с помощью кронциркуля. Гипсовая модель, обычно требуется для того, чтобы при изготовлении копий не изнашивать оригинальную модель из глины, представляющую собой произведение искусства. При изготовлении блоков для полигональной кладки такой проблемы не возникает. Более того, при изготовлении модели блока по каменной заготовке произвольной формы, глиняная модель служит один раз и затем выбрасывается (служит основой для новой модели). Таким образом, для достижения требуемого результата вполне достаточно только глиняной модели блока.

Сам процесс переноса сложной геометрии модели и её масштабирование по немногим опорным точкам с помощью кронциркуля очень трудоёмкий и неточный. Однако этот процесс перестаёт быть таковым, если вместо кронциркуля используется пантограф. Анализ показывает, что в большинстве случаев сначала по каменной заготовке произвольной формы с помощью пантографа создавалась её глиняная модель. Затем в глиняной модели блока вырезались места под сопряжения с соседними блоками. После чего из модельных блоков собиралась модельная стена. После сушки стена разбиралась, и места сопряжения модельных блоков с помощью пантографа переносились на свои каменные заготовки.

Поскольку в строительстве, как, впрочем, и в любой другой сфере нет универсальных решений, то помимо пантографа строители пользовались приёмами, основанными на применении реплик. Например, реплики использовались в местах примыкания каменных построек из крупных блоков к скалам. Реплика снималась с участка скалы и затем прикладывалась к обрабатываемому каменному блоку, или наоборот реплика снималась с каменного блока и затем прикладывалась к обрабатываемой скале. Всё зависело от того, что было удобнее в каждом конкретном случае. Поскольку очень большие каменные блоки подобны скалам – их чрезвычайно трудно двигать, то реплики также использовались при стыковке больших блоков к очень большим блокам и очень больших блоков к другим очень большим блокам.

Фотографии

На фотографиях представлены полигональные кладки, которые могут быть получены с помощью предложенных в статье способов. Отличительные черты этих кладок: каменные блоки большие весом от нескольких сотен килограмм до нескольких тонн, блоки сопрягаются друг с другом вплотную без зазора через сложные криволинейные протяжённые поверхности.

Благодарности

Автор выражает благодарность О. В. Объедкову, профессору И. К. Фоменко и О. Э. Ляпину за критическое прочтение материала.

Материалы по теме

1. J.-P. Protzen, "Inca quarrying and stonecutting", Journal of the Society of Architectural Historians, vol. 44, no. 2, pp. 161-182, 1985.
2. Александр, "[Полигональная кладка: дачные технологии](#)", YouTube, 2015 г.
3. Разгадки истории, "[Как делали полигональную кладку?](#)", YouTube, 2019 г.
4. GRESAR, "[Следы чужих технологий](#)", серии 1-8, YouTube, 2019-2021 г.
5. [Pantograph](#), Wikipedia.

6. M. Rogińska-Niesłuchowska, “The pantograph and its geometric transformations – a former popular tool for copying and scaling”, The Journal of Polish Society for Geometry and Engineering Graphics, vol. 29, pp. 59-65, 2016.
7. Michael Keropian, “[3D Pantograph Enlarging](#)”, parts 1-7, YouTube, 2018 г.
8. [Землетрясения в Перу](#), Википедия.
9. [Климат Перу](#), Википедия.
10. Александр Таманский, “[Кто и когда построил египетские пирамиды?](#)”, YouTube, 2020 г.
11. Александр Таманский, “[Как построили египетские пирамиды?](#)”, YouTube, 2021 г.
12. Александр Таманский, “[Кто построил американские пирамиды?](#)”, YouTube, 2021 г.