

С дореволюционных времён исследователи считали, что поиск соотношений в процессе проектирования храмов непосредственно связан с использованием графических схем, набросков или просто расчётов. Одни исследователи утверждали, что зодчие использовали графические материалы, другие отрицали их наличие. «Если под чертежом понимать ортогональное изображение на бумаге, передающее в определённом масштабе архитектурную форму, то такого чертежа Древняя Русь не знала, а если под чертежом понимать условную графическую схему будущей постройки, дающую возможность выполнить очертания её на земле и приступить к строительству, то таким чертежом русские мастера каменных дел пользовались достаточно часто.» [1].

Раньше, как и сегодня, любое строительство начинается с задания. На его основании зодчий для обсуждения выполнял набросок (рисунок, чертёж) в виде безмасштабной схемы. А.А.Тиц считает, что на Руси архитектурный чертёж с масштабной линейкой впервые использовали в конце XVII в. В подтверждение он приводит из «Служебной чертёжной книги» С.У.Ремезова обмерный чертёж старого гостиного двора. Также, в этой книге имеется масштабная шкала с циркулем и пояснения по их применению. До появления масштабных архитектурно-строительных чертежей на Руси использовались, вероятнее всего, безмасштабные наброски на любой подходящей поверхности для разговора с заказчиками, а также расчётные схемы соотношений частей плана и высотных размеров ярусов и глав.

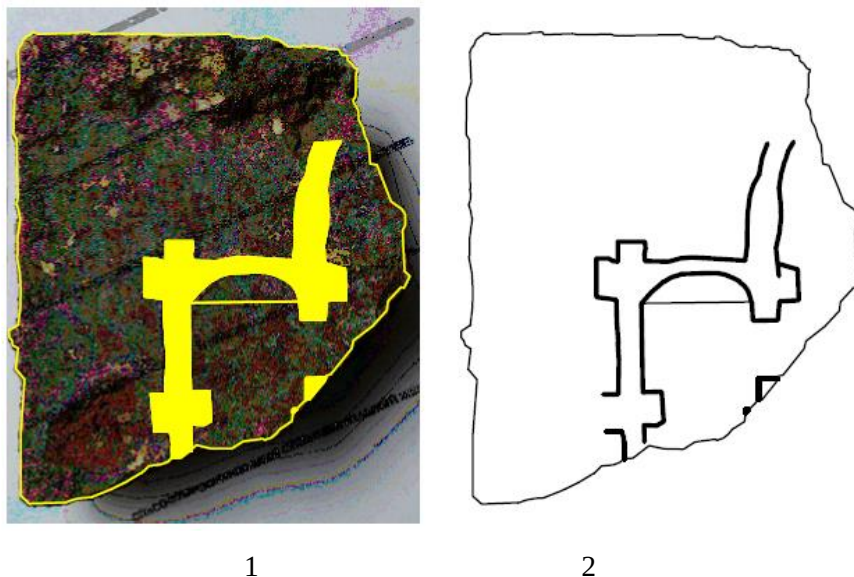


Рис. 1. 1. Фрагмент чертежа на осколке плинфы из раскопок древнего храма-усыпальницы на территории Спасо-Евфросиньева монастыря в г. Полоцке. 2. Чертёж с фрагмента плинфы.

Находка на месте раскопок 2017 г. древнего храма-усыпальницы в Полоцке подтвердила, что чертежи (рисунки) выполнялись на любой подходящей поверхности даже на плинфе (Рис. 1.1). На осколке плинфы изображён северо-восточный угол вероятно, храма-усыпальницы. Исследователи предполагают, что размер плинфы был не меньше 300X300 мм. (Рис. 2.).

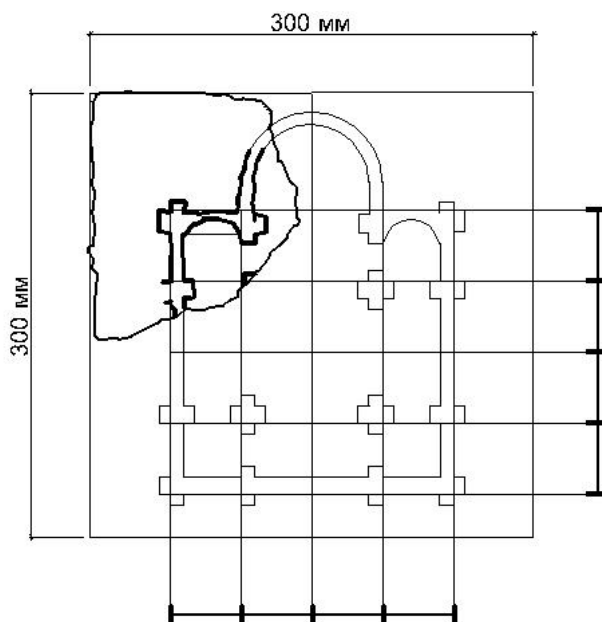


Рис. 2. Реконструкция плана храма-усыпальницы.

Археологи также считают, что чертёж был выполнен писалом (тоненькой палочкой) на сырой глине, после чего плинфа была обожжена. Возможно, на плинфе был изображён план храма-усыпальницы без галерей (Рис. 2.). На фрагменте мы видим, что зодчий, вероятно, объяснял каменщику внутреннюю форму восточной стены относительно фундамента, а плинфа, которую зодчий использовал, оказалась под рукой потому, что разговор проходил в районе изготовления кирпичей перед обжигом. Также возможно, что зодчий изобразил на плинфе не весь план, а только восточную часть храма для разговора с каменщиком. Дальнейшую судьбу кирпича предположить не трудно. Его высушили и использовали по назначению. Точно так же, как и сегодня в процессе авторского надзора при отсутствии бумаги архитектор на любой подходящей поверхности чертит безмасштабный чертёж (схему) с необходимыми уточнениями. Самое главное, мы теперь знаем, что в Полоцке, в XII в. был строитель, обладающий хорошими навыками графического изображения. *«К «сенсационным» находкам, переворачивающим общепринятые представления, следует все же относиться с осторожностью. Действительно, пока науке не известен ни один древнерусский архитектурный чертёж того времени, и нет сведений, что такие чертежи вообще существовали. Напротив, есть фундаментальные исследования по истории архитектуры Древней Руси, которые*

утверждают, что проектирование и передача информации от зодчего строителям происходили иными способами, нежели в позднейшие времена. Так что полоцкую находку, конечно, необходимо тщательно исследовать, но с категоричными выводами я бы не спешил» [2].

Целью настоящей работы являются: реконструкция способов обмена и передачи информации, а также методы пропорционирования крестово-купольных храмов на стадии проектирования в период с XI в. по XII в. на Руси.

Для того, чтобы получить представление о коммуникации древних строителей, необходимо обратиться к двум известным трактатам Витрувия и Альберти. Мы уже обращались к этим трактатам, когда реконструировали рабочие методы архитекторов Эллады [3] и рабочие методы древнерусских зодчих [4], но в этих исследованиях речь шла о рабочих методах, которыми пользовались строители непосредственно на строительной площадке.

В трактате Витрувия содержатся сведения о методах последовательного определения габаритных размеров отдельных частей во взаимосвязи с целым в храмах, общественных и частных зданий. Все методы имеют текстовое описание. Только в отдельных случаях Витрувий дополняет текст (согласно ссылкам) чертежами и диаграммами. О том, как выглядели чертежи, мы ничего не знаем, так как они были утрачены. Из десяти ссылок в трактате только шесть относятся к архитектурным деталям: об утолщении колонн в средней части [5], об устройстве курваты [6], о вычерчивании волюты [7], об акустике в театре [8], о лестницах [9].

В трактате Альберти так же, как и в трактате Витрувия рабочие методы для различных типов сооружений имеют достаточно подробные описания. Ссылки на чертежи, иллюстрирующие описания в трактате, отсутствуют. Вероятно, чертежей к трактату Альберти не прикладывал.

Таким образом, в I в. до н.э. – текстовая форма передачи информации о рабочих методах в модульной системе дополнялась минимальным количеством чертежей, деталей и диаграмм (трактат Витрувия). В XV в. текстовая форма построения в модульной системе ордеров и различных сооружений является основной (трактат Альберти). В XVI в. текстовая форма построения ордеров и различных сооружений является неотъемлемой частью чертежей. Причём чертежи ордеров выполняются в модульной системе (трактаты Палладио, Виньола, Блюма), а чертежи сооружений - в масштабе. Выбор масштаба зависел от архитектора (трактат Палладио).

Период с X в. до XV в. для изучения истории развития строительной документации на Руси достаточно сложен в связи с отсутствием письменных и графических источников, кроме археологической находки в Полоцке. Только в первой половине XVI в. после возникновения централизованного русского государства была создана первая строительная организация – Пушкарский приказ. Позднее, в 1584 г. - приказ Каменных дел. Подробно о деятельности этих организаций и истории развития древнерусского чертежа написал А. А. Тиц. Он предположил, что на Руси до XVI в. рабочую документацию, необходимую для общения между заказчиком и строителем, а также неброски и расчёты для строительства, участники этого процесса не рассматривали, как документацию, подлежащую хранению и дальнейшему использованию.

В конце X в. византийские архитекторы познакомили русских зодчих с простым методом сложения для определения габаритных размеров при возведении крестово-купольного типа христианского храма. Простота этого метода заключается в использовании простых кратных отношений. Для определения всех необходимых габаритных размеров как в плане, так и по вертикали, зодчий оперировал двумя арифметическими действиями – делением в плане, сложением по вертикали с использованием двух модулей перехода, обозначенных в гипотезе как «А» и «Б», размер которых определялся при разбивке нефов.

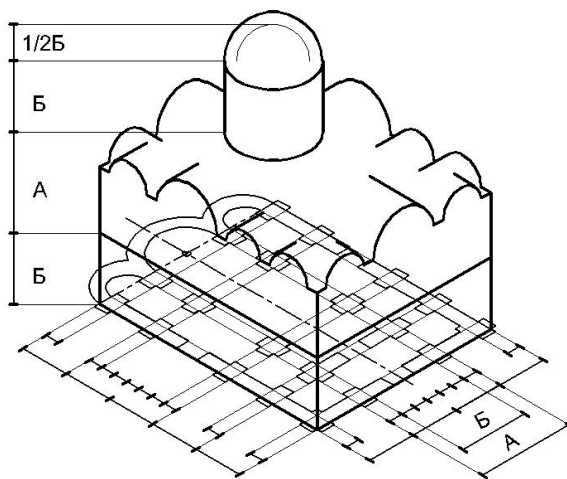


Рис. 3. Изометрическое изображение метода сложения для определения габаритных размеров крестово-купольного типа трёхнефного храма.

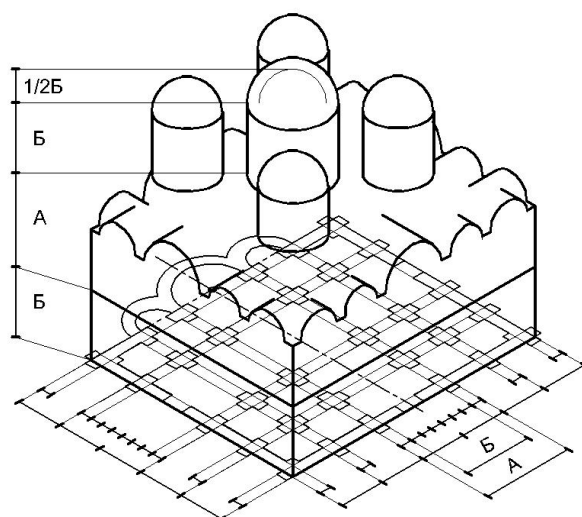


Рис. 4. Изометрическое изображение метода сложения для определения габаритных размеров крестово-купольного типа пятинефного, трёхапсидного храма.

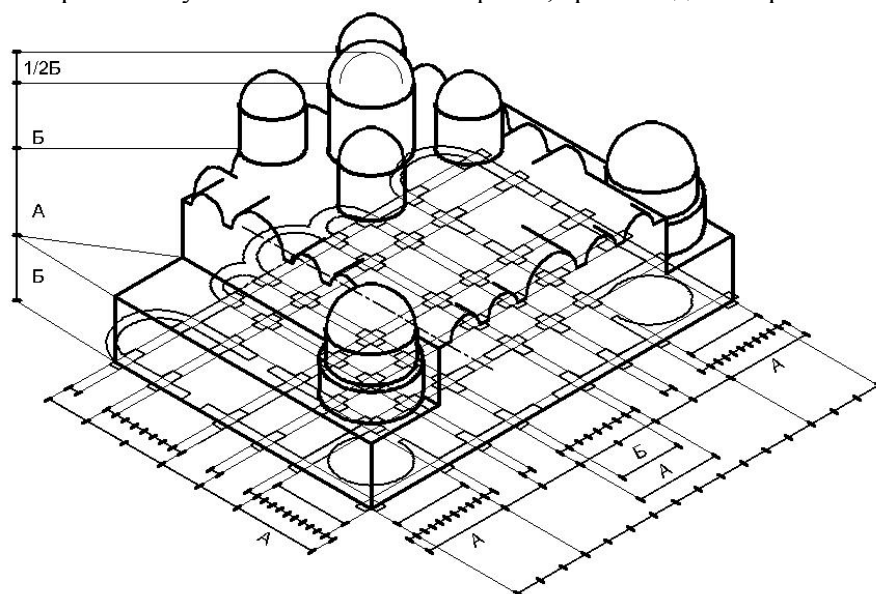


Рис. 5. Изометрическое изображение метода сложения для определения габаритных размеров крестово-купольного типа пятинефного, трёхапсидного с галереями храма.

Такой простой метод можно изложить как устно, так и письменно. Используя, как пример, описания в трактатах Витрувия и Альберти для базилик, попробуем воссоздать в письменном изложении метод сложения для крестово-купольного храма (Рис. 3, 4, 5).

Гипотетическое описание метода сложения для трёхнефных, пятинефных и пятинефных с галереями храмов.

Трёхнефный храм должен быть в ширину на одну пятую часть меньше длины, а если храм будет пятинефный, то длина будет меньше на одну шестую ширины. В трёхнефном храме ширина боковых нефов будет равна одной четвёртой, а центральный неф – двум четвёртым ширины храма. (Рис. 1). В пятинефном храме одной шестой будет равняться

ширина боковых нефов, а центральный неф будет равен - двум шестым (Рис. 2). Ширина восточного трансепта (алтаря), западного трансепта и нартекса равны боковым нефам, центральный трансепт - центральному нефу. Толщина стен и столбов в зависимости от размеров центрального нефа будет составлять любую часть от одной пятой до одной девятой. Углублению центрального алтаря дают половину ширины центрального нефа, а углублениям боковых алтарей дают половину ширины боковых нефов за вычетом толщины стены. Если с южного, северного и западного фасадов пятинефного храма будут галереи, то ширина собора делится на десять частей, из которых три части отдаются галерее (Рис. 3). Если с южного, северного и западного фасадов пятинефного храма будут двойные галереи, то ширина собора делится на семь частей, из которых по три части отводятся галереям. Ширина внутренних галерей приравнивается к боковому нефу. Высота хор делается такой же высоты, как расстояние между колоннами центрального нефа. Высота над хорами до основания барабана главы равняется ширине центрального нефа со столбами. Высоту барабана главы следует делать такой же, как высота хор. Высота купола должна равняться внутреннему радиусу барабана.

Далее, на основании метода сложения, мы проанализируем сохранившиеся храмы XI в. и начнём свой анализ с киевского Софийского собора, так как он построен полностью с использованием простого метода сложения. Вероятно, этот метод был выбран византийцами для обучения русских строителей как самый доступный для понимания принципа определения взаимосвязи габаритных размеров сооружения с его частями.

Реконструкциях методов проектирования для храмов XI в.

Киев. Софийский собор, 1037 г.

Заказчик - Князь Ярослав Мудрый.

Задание: построить на месте битвы с печенегам церковь святой Софии. Церковь должна быть пятинефная, пятиапсидная, тринадцетиглавая с хорами, окружённая с трёх сторон двойными галереями.

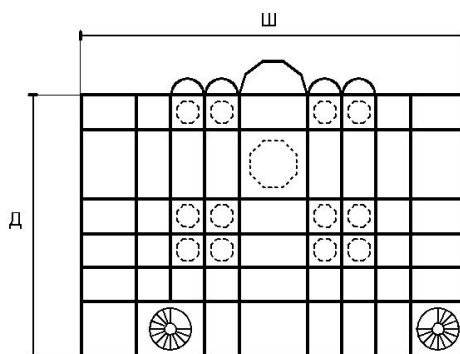


Рис. 6. Схематический план собора по заданию.

Обсудив с заказчиками планировочную, безмасштабную схему собора (Рис. 6), выполненную вероятнее всего на земле, зодчий приступал к определению основных соотношений (Рис. 7).

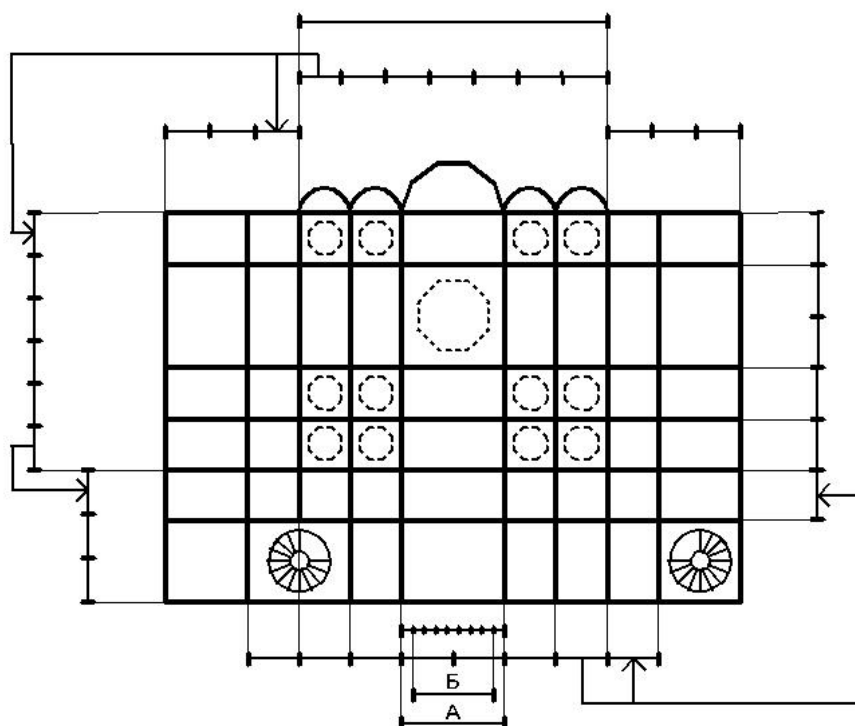


Рис. 7. Проектная безмасштабная схема основных соотношений разбивочной сетки плана в модульной системе с определением соотношений между модулями перехода «А» и «Б».

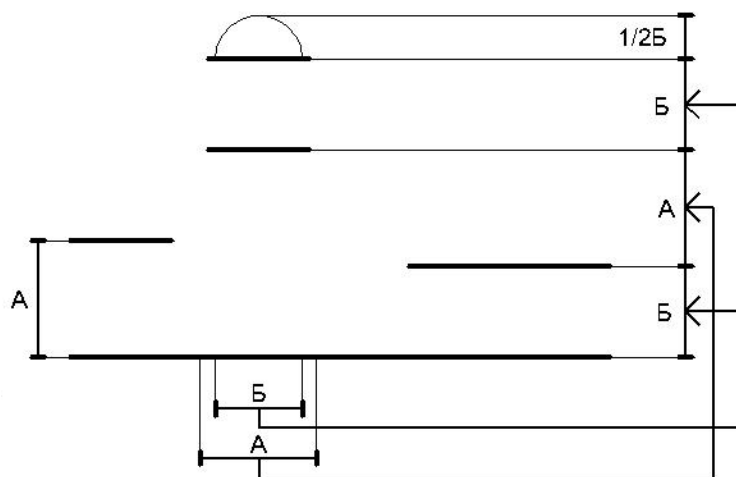
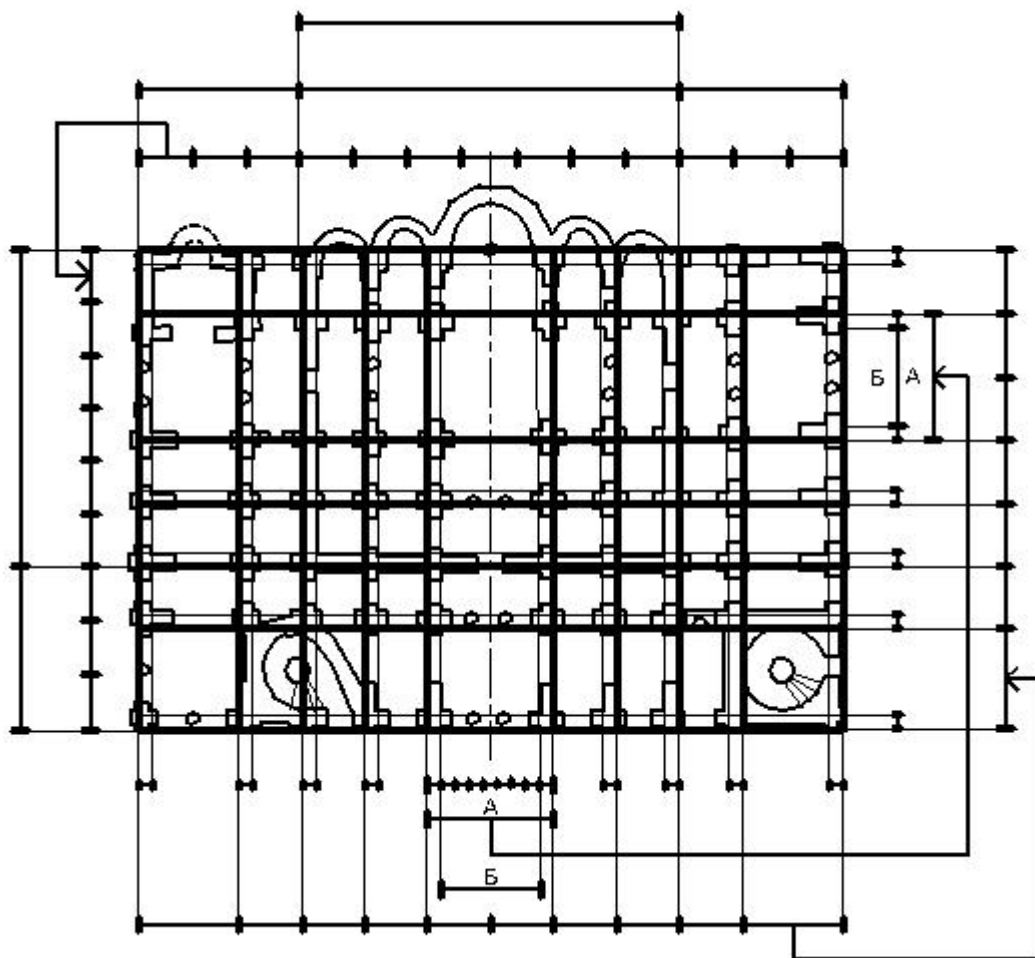


Рис. 8. Проектная схема последовательного применения модулей перехода «А» и «Б» для определения высоты собора.

После определения основных отношений (Рис. 7,8) зодчий составлял рабочую роспись. Если безразмерные схемы выполнялись на земле, то рабочая роспись вероятнее всего - на бересте.

Рабочая роспись.

Отношение ширина и длина собора с галереями 13х9. Ширина и длина храма без галерей 7и6/13. Ширина галерей 3/13. Ширина центрального нефа «А» 2/6 ширины храма. Ширина остальных нефов по 1/6 ширины храма. Ширина между столбами центрального нефа «Б» 7/9«А». Ширина внутренней галереи 1/2«А». Ширина наружной галереи от 3/13-1/2«А». Высота хор «Б». Высота над хорами «А». Высота стены апсиды «А». Высота стены барабана «Б». Высота купола «1/2Б».



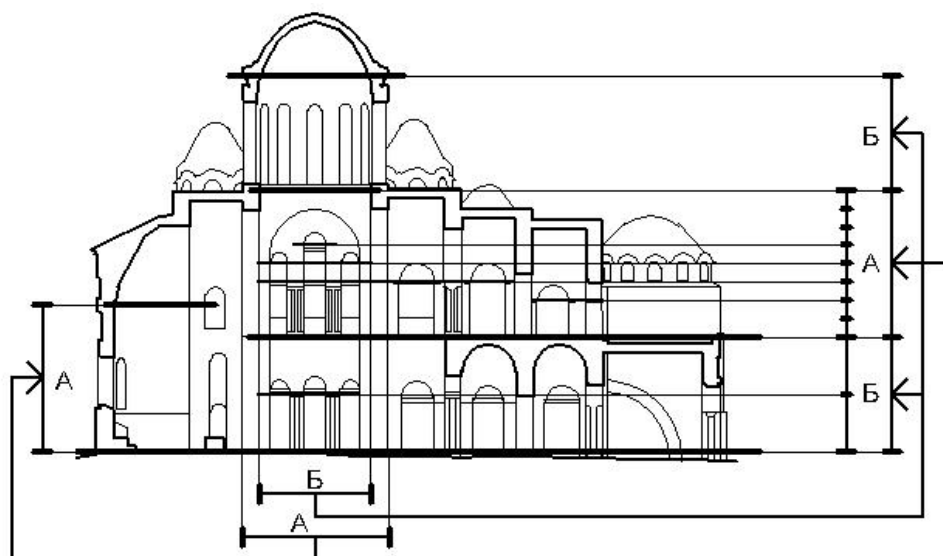


Рис. 9. Определение дополнительных размеров в процессе строительства.

Составление расчётной схемы отношений и рабочей росписи является основной частью проектирования. Далее проектирование переносилось на стройплощадку и после подготовки строительной площадки зодчий размечал габаритные размеры плана (Рис. 9). Сначала шагами (так же возможно использовались фут, локоть, сажень и т.п.) определял ширину собственно храма. Шаг (примерно 71 см.) самый доступный и естественный древний способ определения расстояний. Поэтому, вероятнее всего, зодчие на строительной площадке для определения габаритных размеров пользовались шагами. Здесь следует отметить, что зодчему необходимо было определить шагами только ширину, а впоследствии после определения модулей перехода «А» и «Б» высоту храма. После определения ширины зодчий отмерял шнур в размер полученного размера. На практике использование шнура для деления отрезков на чётное и нечётное количество частей гораздо проще, чем арифметические расчёты, тем более, что мы не знаем правила простейших арифметических операций. Советский историк В.К. Кузаков отмечает: *«И хотя авторам «Русской Правды» приходилось умножать только на 2, 6 и 10 и делить лишь на 50, до сих пор не установлено, каким образом проводились эти исчисления. Как это ни парадоксально, оказывается, что привычная нам система сложения, деления, умножения и вычитания ни в одном из многочисленных документов не зафиксирована»* [10]. Ни Витрувий, ни Альберти, ни Виньола и Палладио не говорят о применении шнура, как инструмента для черчения прямых, кривых, определения прямого угла и арифметических расчётов на строительной площадке. Только из описания разметки церкви Христа на острове Ахтамар мы узнаём об использовании шнура, да из индийского трактата «Шильпашаста» (Сборник шнура). Как делили строители шнур на чётное число понятно. Шнур складывался необходимое число раз

пополам. Но как делили шнур на нечётное число, неизвестно. Попробуем представить, как практически могли делить строители шнур на нечётное число.

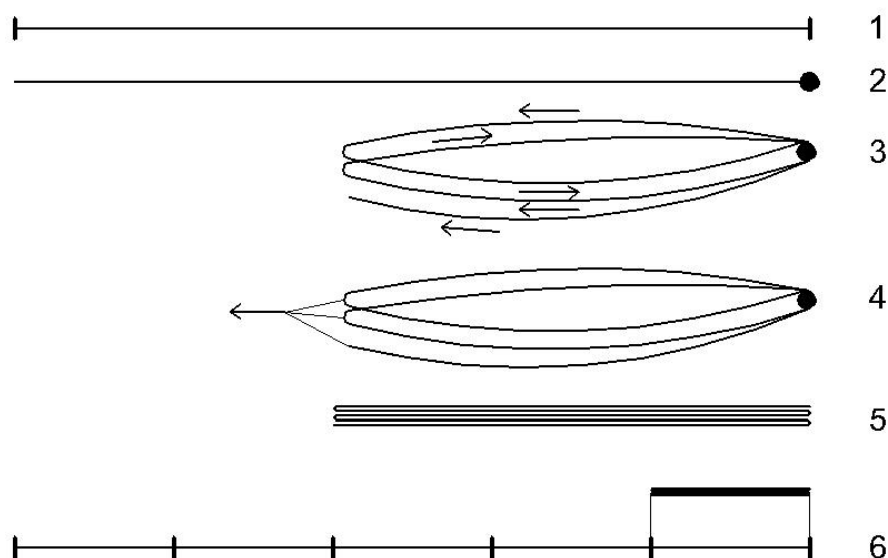


Рис. 10. Способ деления шнура заданной длины на нечётное количество отрезков.

Например, возьмём шнур который требуется разделить на пять частей (Рис. 10,1). Закрепим один конец шнура к кольшку (Рис. 10,2). Держа в руке другой конец накинём на кольцо две петли (Рис. 10,3). После чего, соединим петли со свободный концом шнура и натянем (Рис. 10,4). В результате мы получаем равные отрезки (Рис. 10,5) которые делят шнур в данном примере на пять частей (Рис. 10,6). С помощью такого способа можно делить шнур необходимой длины на 3,5, 7, 9, 13 и т.д. Такое практическое деление шнура на равные нечётные отрезки древними строителями нам кажется вполне возможным.

После расчёта разбивочной сетки по текстовой памятке все необходимые дополнительные размеры (ширина фундаментов, размеры дверных и оконных проёмов, высота пята арок и сводов) определялись по необходимости непосредственно в процессе возведения сооружения (Рис. 9).

Чернигов. Спасский собор, 1036 г.

Заказчики - Князя Мстислав и Ярослав Мудрый.

Задание: Построить храм вместо деревянной церкви на территории Древнего Града трёхнефный, трёхапсидный, пятиглавый с хорами.

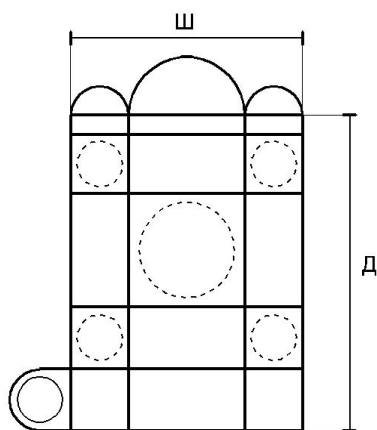


Рис. 11. Схематический план собора по заданию.

Строительная судьба собора непростая. После смерти Мстислива, Ярослав Мудрый стал неоспоримым властителем всей Руси, исключая полоцкие земли. Вероятнее всего он стал заказчиком окончания строительства храма.

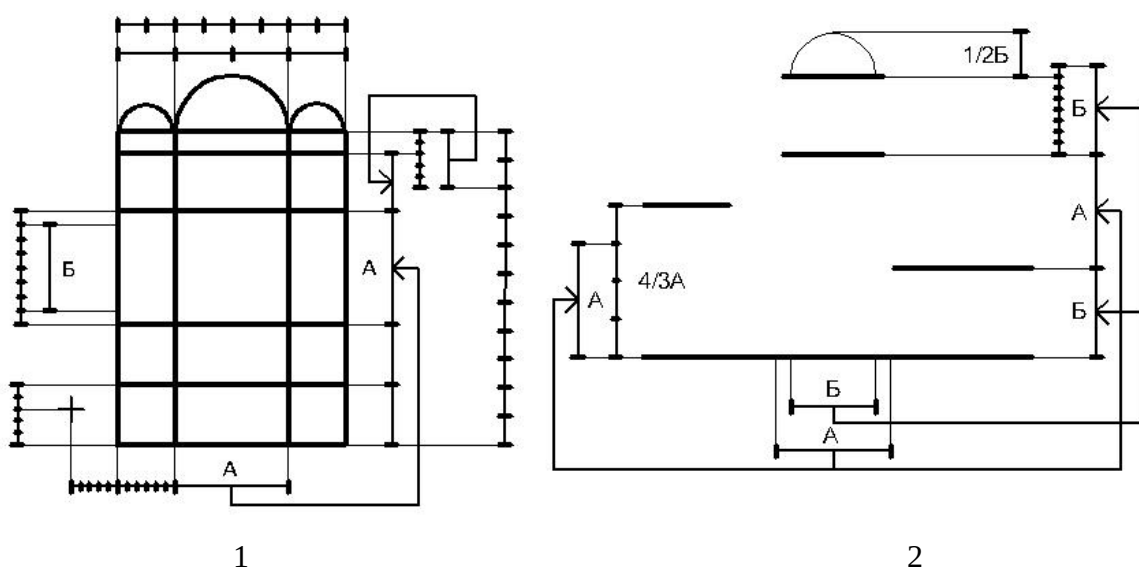


Рис. 12. 1. Проектная схема основных сложных соотношений разбивочной сетки плана и определение соотношений между модулями перехода «А» и «Б». 2. Проектная схема последовательного применения модулей перехода «А» и «Б» для определения высоты храма.

Рабочая роспись.

Отношение ширины к длине 8/11. Ширина центрального нефа «А» $\frac{2}{4}$ ширины собора. Ширина северного и южного нефов по $\frac{1}{4}$ ширины собора. Размер между столбами центрального нефа «Б» равен $\frac{6}{8}«А»$. Высота хор «Б». Высота над хорами «А». Высота стены апсиды «А» $+\frac{1}{3}«А»$. Высота стены барабана «Б» $-\frac{1}{8}«Б»$. Высота купола $\frac{1}{2}«Б»$.

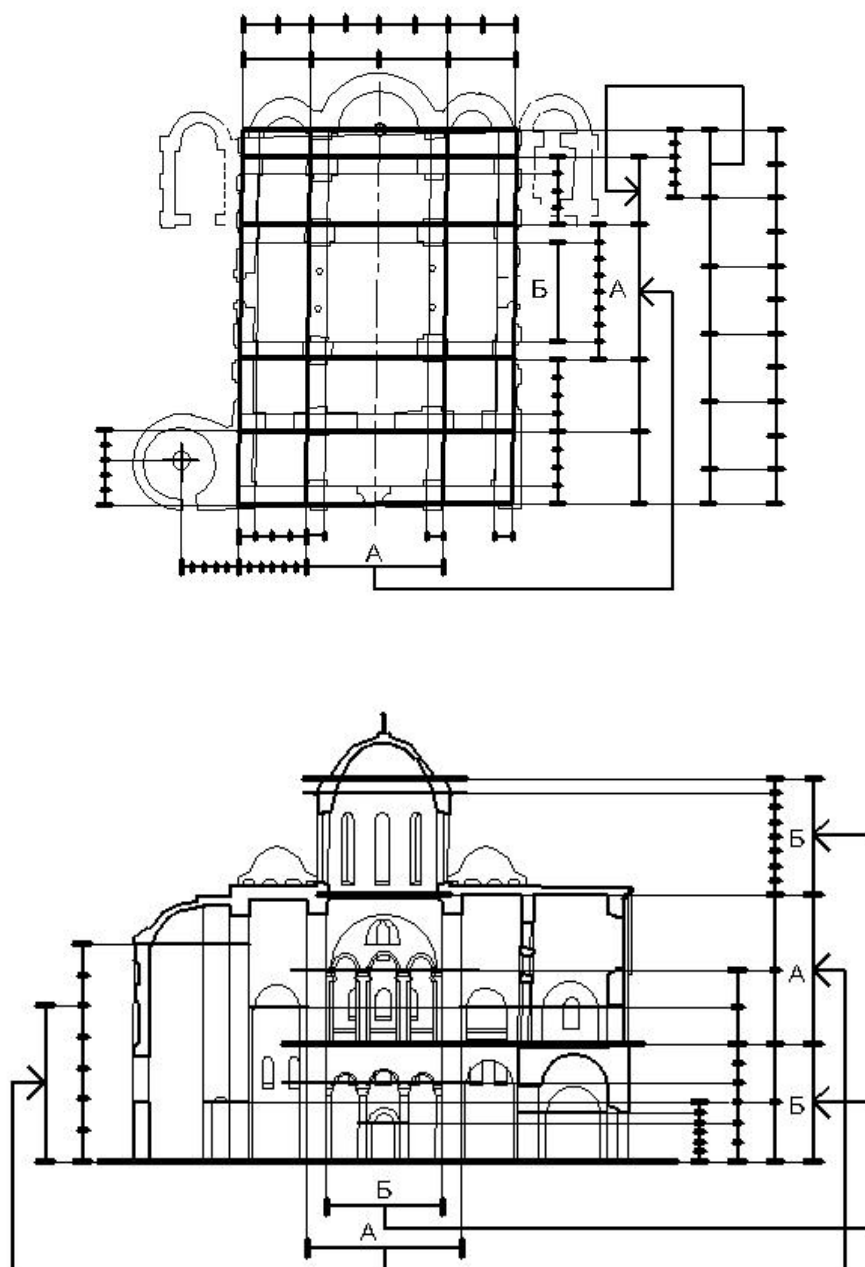


Рис. 13. Определение дополнительных размеров в процессе строительства.

Анализ с использованием метода сложения косвенно подтвердил предположение исследователей, которые считают, что после перерыва собор достраивала другая строительная артель. Разбивочная сетка плана сложная относительно разбивочной сетки киевского Софийского собора. Если в Софийском соборе соотношение сторон храма совпадает с размерами нефов и трансептов, то в Спасском соборе такого совпадения нет. Для определения размеров нефов ширина дополнительно делится на четыре части из которых двум частям равен центральный неф, а по одной части боковые нефы. Определение размеров восточного прохода, трансептов и нартекса осуществляется последовательно с востока на запад. Восточный проход равен $\frac{2}{5}$ от $\frac{2}{13}$ длины собора без

апсид. Восточный трансепт $2/13$ длины собора без апсид. Размер центрального трансепта равен ширине центрального нефа. Оставшееся расстояние делится пополам для западного трансепта и нартекса. Центр лестницы относится на $5/6$ ширины северного нефа и смещается к востоку на $3/5$ ширины нартекса. Размеры ярусов и барабана определялись также как в киевском Софийском соборе. Таким образом, план разбивался строителями, которые использовали сложный метод, а достраивали храм другие строители, использовавшие простой метод. Нет никаких сведений о длительности перерыва в строительстве, и если в этот период был построен Софийский собор в Киеве, то тогда не исключена возможность, что Спасский собор достраивала киевская строительная дружина.

Новгород. Софийский собор, 1045-1052 гг.

Заказчик – Князь Володимир.

Задание: на месте сгоревшей деревянной Софийской церкви построить пятинефный, трёхапсидный, пятиглавый с хорами каменный собор и галереями с апсидами. Высота собора должна быть выше киевского Софийского собора.

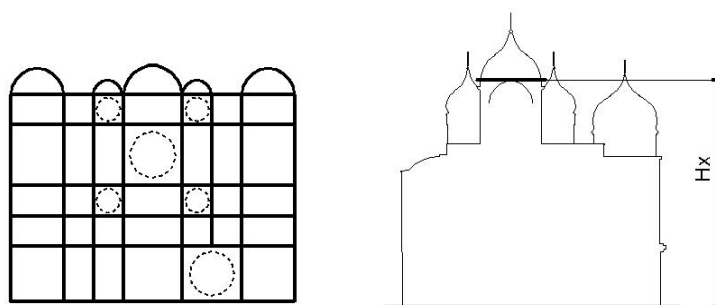


Рис. 14. Схематический план и предварительная высота собора по заданию.

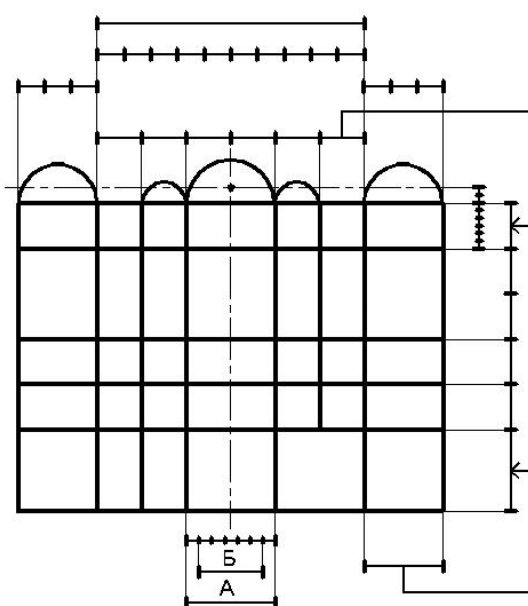


Рис.15. Предварительная схема основных соотношений разбивочной сетки плана и определение соотношений между модулями перехода «А» и «Б».

Рабочая роспись для определения соотношений в плане.

Ширина и длина 6×5 , Ширина храма к ширине собора равны $10/16$. Ширина галерей к ширине храма равна $3/10$. Ширина центрального нефа «А» равна $(2/6 \text{ ширины храма})$. Ширина нефов равна $1/6 \text{ ширины храма}$. Ширина между столбами центрального нефа «Б» равна $5/7 \text{ «А»}$.

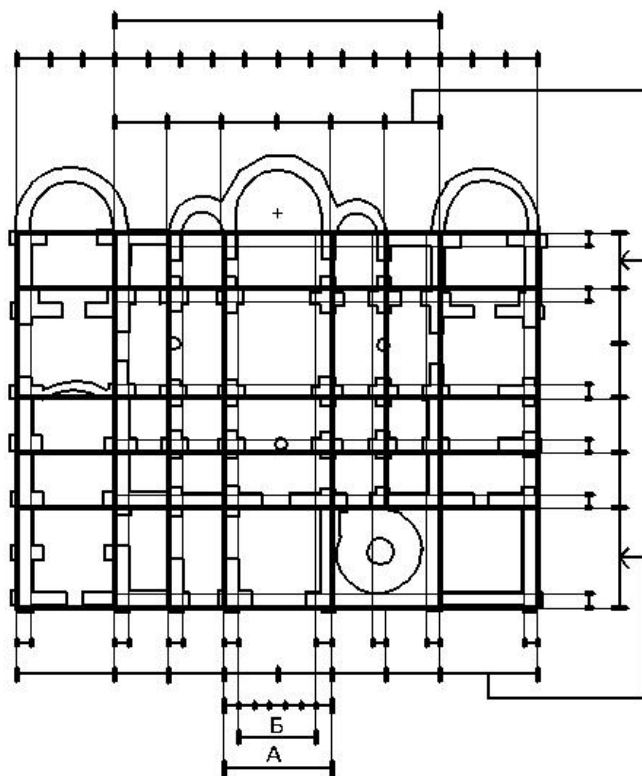


Рис. 16. Разбивка плана с определением дополнительных размеров на строительной площадке.

Начиналась разбивка плана на строительной площадке с определения святого места, ориентации и определения ширины собора. Ширина собора по К.Н.Афанасьеву $\sim 39,35$ м. это ~ 55 ш. (шагов) по ~ 715 мм. делилась на шестнадцать частей. Ширина храма составляла десять таких частей, а галереи – три. Затем, отмерялся шнур, который соответствовал десяти частям и делился на 6 частей для определения ширины нефов. Две таких части составляли ширину центрального нефа, а по одной части остальные нефы. Отмерив шнур, равный центральному нефу, зодчий получал модуль перехода «А». Для получения модуля перехода «Б» шнур равный «А» делился на 7 частей, из которых 5 частям равнялся шнур «Б» (Рис. 16).

После вычерчивания плана в натуральную величину, руководствуясь рабочей росписью, зодчий изготавливал из шнура два модуля перехода «А» и «Б» (Рис. 16). Затем, на земле отмерялась заданная высота (по К.Н. Афанасьеву $30,8$ м.) сооружения возможно ~ 43 шага.

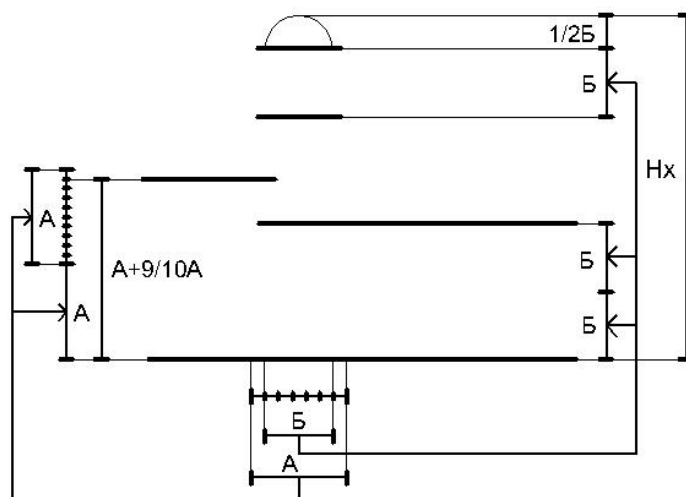


Рис. 17. Предварительная схема для определения высоты второго яруса.

Из полученного размера Hx с помощью шнура, равного модулю перехода «Б», вычитается высота первого яруса («Б» $\times$ 2) и высота главы («Б» + $1/2$ «Б»). Так как все вертикальные размеры определяются с помощью шнуров, равных модулям перехода «А» и «Б», то полученный размер в шагах приводится в соответствие с модулем перехода «А», которому согласно метода сложения должна равняться высота второго яруса. В данном случае он превышает модуль перехода «А» на $1/8$ (Рис. 18).

$$Hx - (3Б + 1/2Б) = A + 1/8A$$

The diagram shows the conversion of the second tier height from the metrological system to the modular system. It includes the formula $Hx - (3Б + 1/2Б) = A + 1/8A$ and a dimension A . The diagram uses dashed lines to show the relationship between these dimensions and the overall height Hx .

Рис. 18. Перевод размера второго яруса из метрологической системы в модульную.

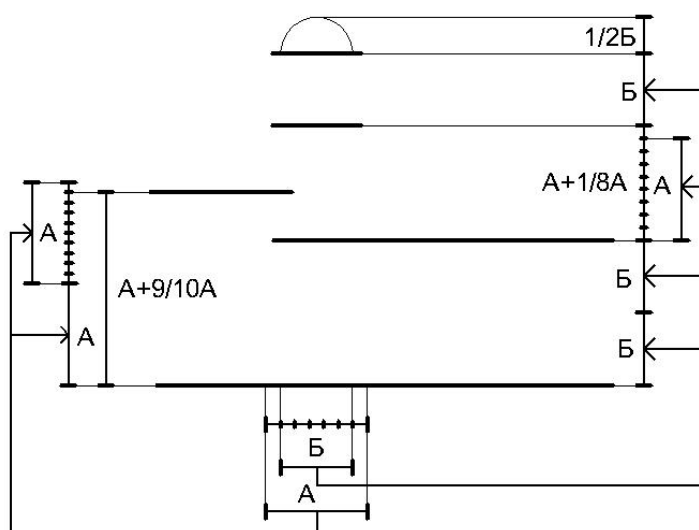


Рис. 19. Окончательная проектная схема основных соотношений ярусов, главы и апсиды в модульной системе.

Рабочая роспись для определения высотных размеров.

Высота хор равна «2Б». Высота над хорами равна «А»+ «1/8А». Высота стены барабана равна «Б». Высота купола равна «1/2Б». Высота стены апсиды равна «А»+ «9/10А».

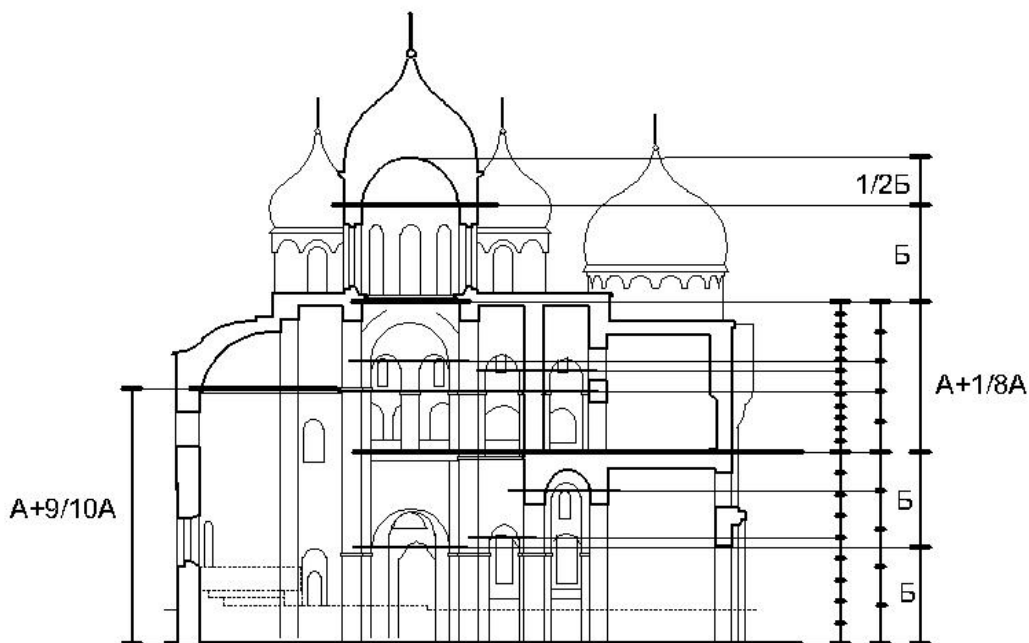


Рис. 20. Определение дополнительных вертикальных размеров в процессе строительства.

Заказчик, ориентируясь на высоту Софийского собора в Киеве, обязал зодчего построить одноимённый собор в Новгороде выше, чем аналог, независимо от габаритных размеров плана. Вероятно, заказчики при разговоре о размерах оперировали такими понятиями, как больше, меньше, выше, ниже. Так как по мнению П.А. Раппопорта в XI в. было три артели (в Киеве, Переяслове, Чернигове), а в XII в. уже шесть артелей (в Киеве, Владимире, Новгороде, Полоцке, Смоленске, Галиче) можно предположить, что строители хорошо знали размеры построенных храмов, поэтому предположить размеры в метрологической системе им было не сложно. Заданная заказчиком высота будущего собора 30,8 м. (по К.Н. Афанасьеву) равна 43 ш. (по 716 мм.) выше, чем высота киевского Софийского собора 28,5 м. (по К.Н. Афанасьеву) или 28,6 м. (по П.А. Раппопорту) равная 40 ш. (по 713 мм.) поставила перед зодчим сложную задачу. Метод сложения русскими зодчими к этому времени был в основном освоен, но для решения поставленной задачи не подходил. Общая высота сооружения, при использовании метода сложения, вытекала из суммы высотных размеров ярусов и главы, которые в свою очередь определялись модулями перехода «А» и «Б». Теперь из заданной высоты надо было определить высоты ярусов и главы, сохранив соотношения ярусов между собой из условия, в котором первый ярус больше второго по методу сложения. Метод деления, который описал Альберти,

вероятнее всего ещё не был изобретён, поэтому надо было внести такие изменения в метод, которые бы позволили решить возникшую проблему. Зодчие пошли простым путём. Из общей высоты сооружения вычислили высоту хор и главы. Причём высоту первого яруса (хор) взяли как удвоенный модуль перехода «Б», видимо опасаясь, что высота второго яруса будет слишком большой по отношению к первому ярусу. Использовать для определения высоты первого яруса большой модуль перехода «А» зодчие, видимо, тоже не могли, т.к. в методе сложения высота первого яруса определялась только с использованием малого модуля перехода «Б», а для зодчего метод являлся каноном.

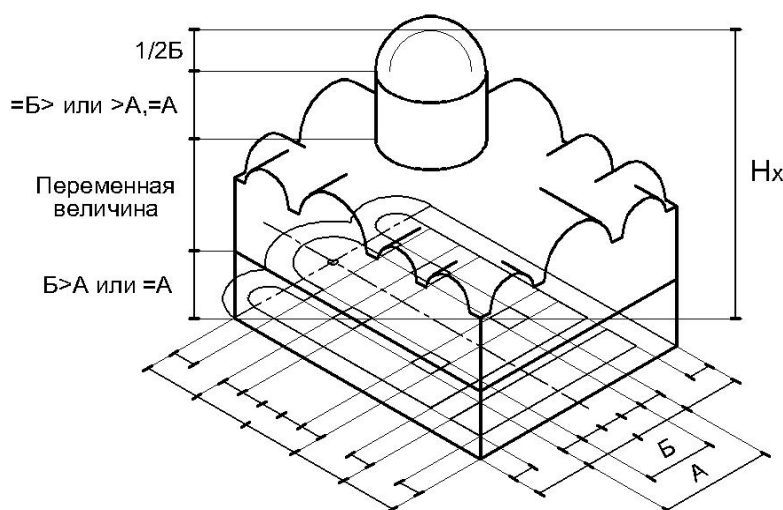


Рис. 21. Изометрические изображения метода вычитания.

Таким образом, во время возведения новгородского Софийского собора, зодчие разработали метод проектирования на основании метода сложения из условия заданной высоты. С этого времени зодчие получили возможность пользоваться как методом сложения, так и методом вычитания. Эти два метода имеют принципиальные различия. Метод сложения основан на принципе «ОТ ОБЩЕГО К ЧАСТНОМУ В ПЛАНЕ И ОТ ЧАСТНОГО К ОБЩЕМУ ПО ВЕРТИКАЛИ», а метод вычитания - «ОТ ОБЩЕГО К ЧАСТНОМУ В ПЛАНЕ И ПО ВЕРТИКАЛИ». Для использования метода сложения в строительной практике достаточно было устного или письменного изложения метода и размера строительной площадки, будь то трёхнефный, пятинефный без галерей или с галереями (Спасский собор в Чернигове, Софийский собор в Киеве). Для использования метода вычитания необходим предварительный расчёт искомой величины из заданной высоты.

Реконструкциях методов проектирования для храмов XII в.

Псков. Собор Ивановского монастыря начало XII в.

Заказчик – по преданию жена псковского князя Ярослава Владимировича – Ефросинья Рогволодова. По мнению С. П. Михайлова и Г. В. Алфёровой, собор был построен вдовой псковского князя Всеволода (Гавриила).

Задание. Построить трёхнефную с хорами, трёхапсидную, шестистолпную, трёхглавую церковь Рождества Иоанна Предтечи на территории монастыря.

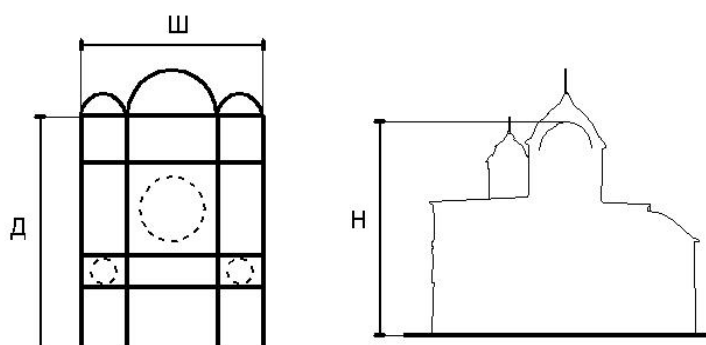


Рис. 22. Схематический план и предварительная высота собора по заданию.

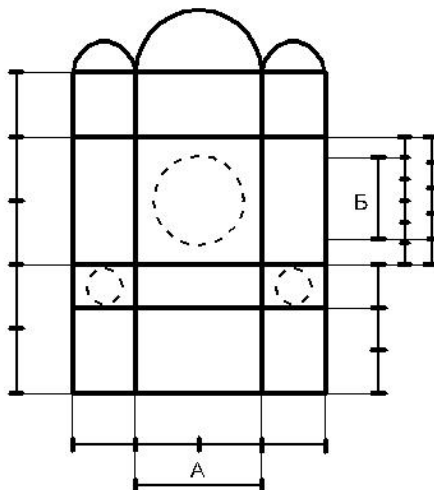


Рис.23. Предварительная схема основных соотношений разбивочной сетки плана и определение соотношений между модулями перехода «А» и «Б».

Рабочая роспись для определения соотношений в плане.

Ширина и длина 4x5. Размер центрального нефа «А» равен $\frac{2}{4}$ ширины храма. Толщина столбов равна « $\frac{1}{5}A$ » и « $\frac{1}{6}A$ ». Размер между столбами центрального нефа «Б» равен « $A - \frac{1}{5}A - \frac{1}{6}A$ ».

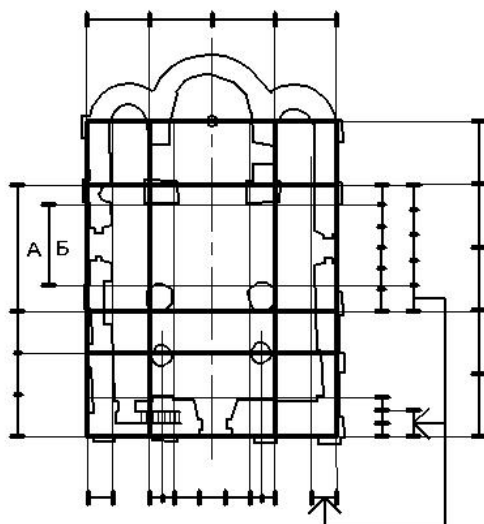


Рис. 24. Разбивка плана на строительной площадке и определение дополнительных размеров.

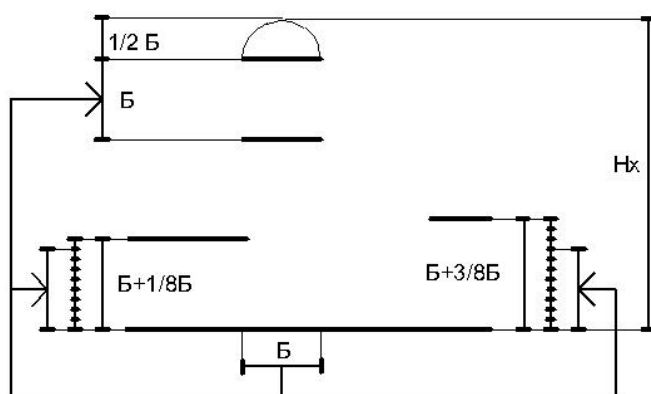


Рис. 25. Предварительная схема для определения высоты второго яруса.

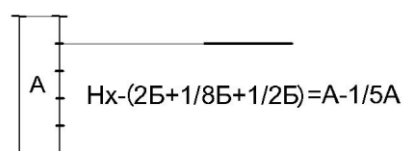


Рис.26. Перевод размера второго яруса из метрологической системы в модульную.

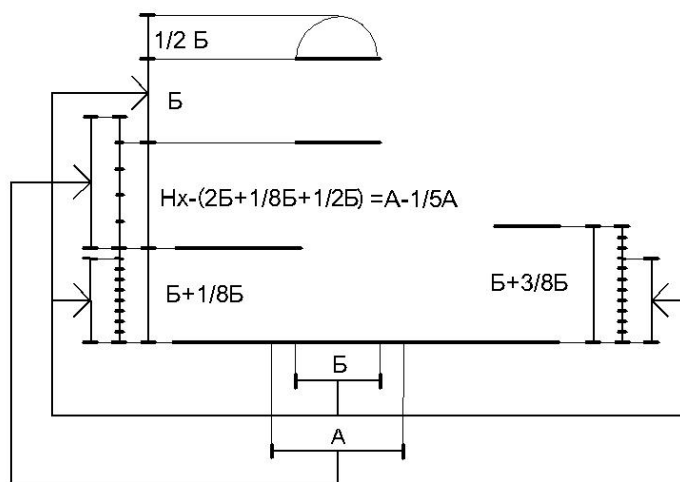


Рис. 27. Окончательная проектная схема основных соотношений ярусов, главы и апсиды в модульной системе.

Рабочая роспись для определения высотных размеров.

Высота хор равна «Б»+1/8«Б». Высота над хорами равна «Б»+1/4«Б». Высота стены апсиды равна «Б»+3/8«Б». Высота стены барабана равна «Б». Высота купола равна 1/2«Б».

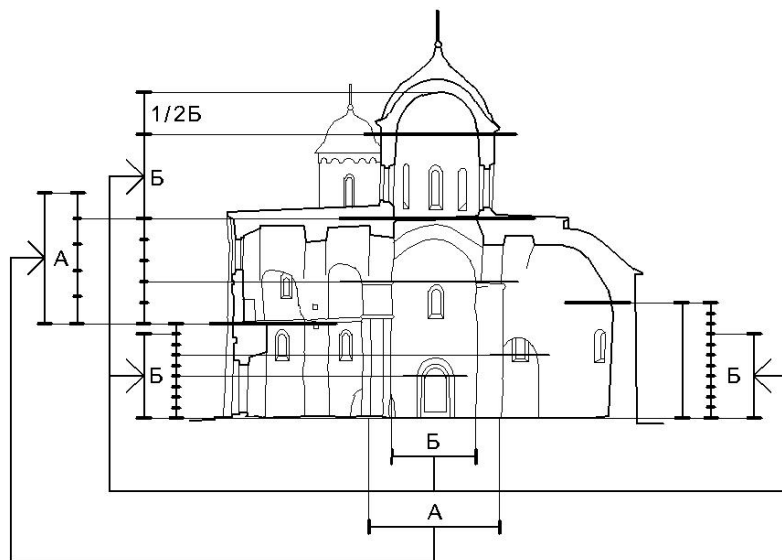


Рис. 28. Определение дополнительных размеров в процессе строительства.

Псков. Спасо-Преображенский собор Мирожского монастыря, 1140-1150 гг.

Заказчик – архиепископ Нифонт.

Задание. Построить трёхнефный, трёхапсидный, одноглавый храм с хорами в центральном нефе, пониженными угловыми апсидами и западными объёмами.

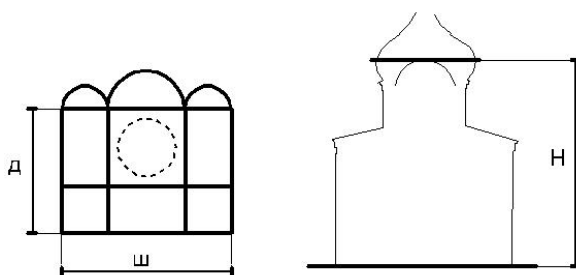


Рис. 29. Схематический план и предварительная высота собора по заданию.

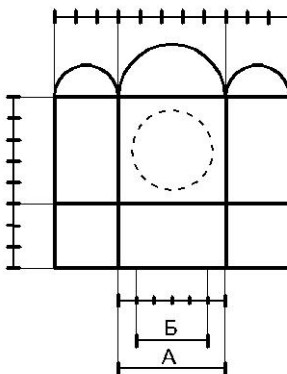


Рис.30. Предварительная схема основных соотношений разбивочной сетки плана и определение соотношений между модулями перехода «А» и «Б».

Рабочая роспись для определения соотношений в плане.

Ширина и длина 11х8. Размер центрального нефа «А» равен (5/11 ширины храма). Толщина стены равна 1/6«А». Размер между столбами центрального нефа «Б» равен 4/6«А».

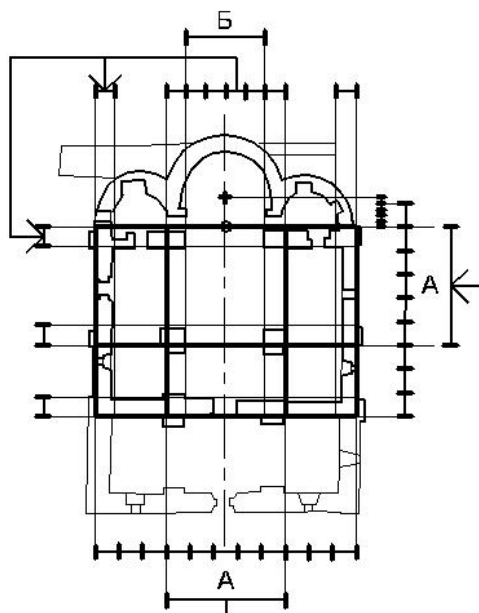


Рис. 31. Разбивка плана на строительной площадке и определение дополнительных размеров.

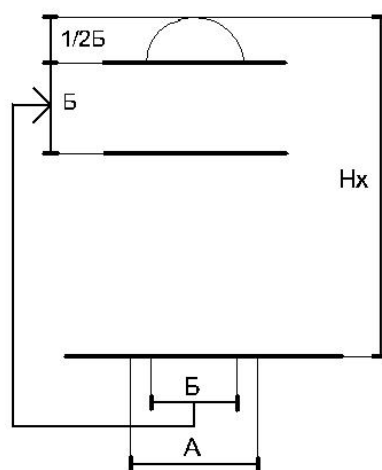


Рис. 32. Предварительная схема для определения высоты второго яруса.

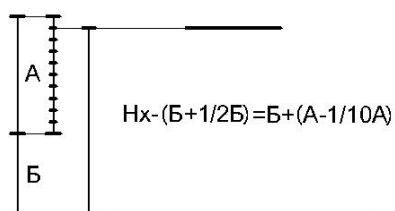


Рис.33. Перевод размера второго яруса из метрологической системы в модульную.

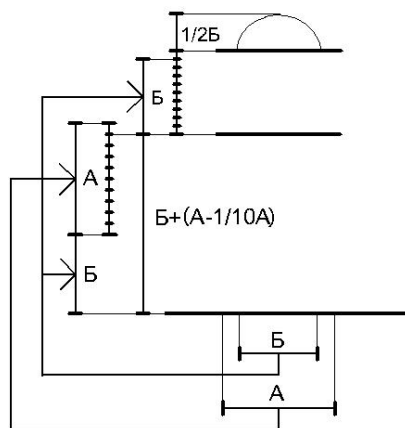


Рис. 34. Окончательная проектная схема основных соотношений ярусов, главы и апсиды в модульной системе.

Рабочая роспись для определения высотных размеров.

Высота от пола до основания барабана равна «Б»+ («А»-1/10«А») Высота стены барабана равна «Б»+1/9«Б». Высота купола равна 1/2«Б».

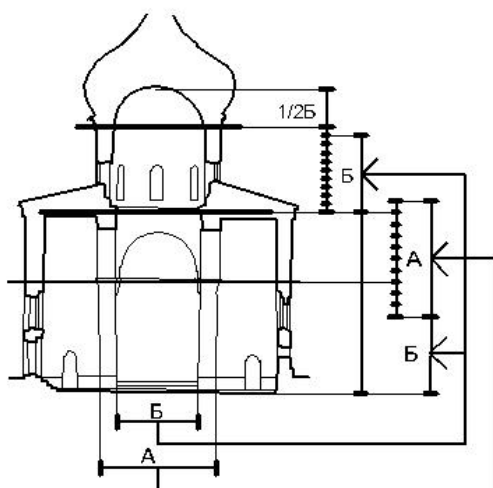


Рис. 35. Определение дополнительных вертикальных размеров в процессе строительства.

Старая Ладога. Успенская церковь вторая половина XII в.

Задание. Построить трёхнефный, трёхапсидный, одноглавый храм с хорами.

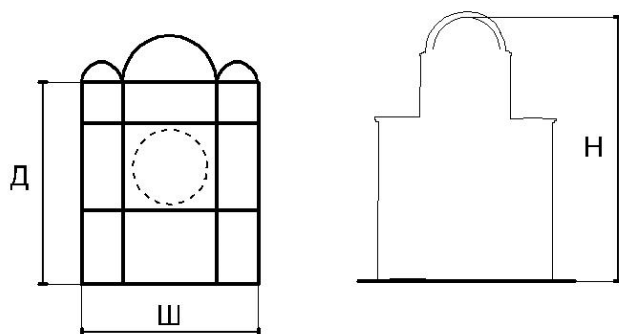


Рис. 36. Схематический план и предварительная высота собора по заданию.

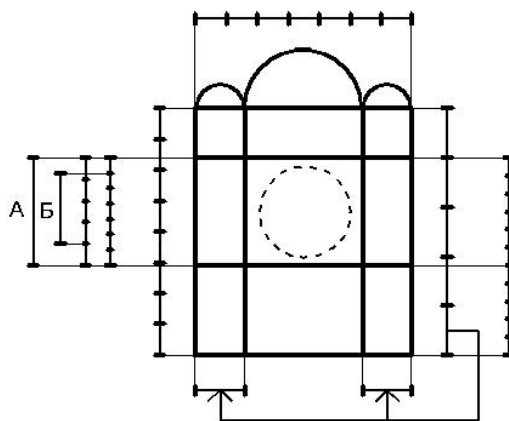


Рис.37. Предварительная схема основных соотношений разбивочной сетки плана и определение соотношений между модулями перехода «А» и «Б».

Рабочая роспись для определения соотношений в плане.

Ширина и длина 7х8. Размер центрального нефа равен «А». Размер между столбами центрального нефа равен «Б».

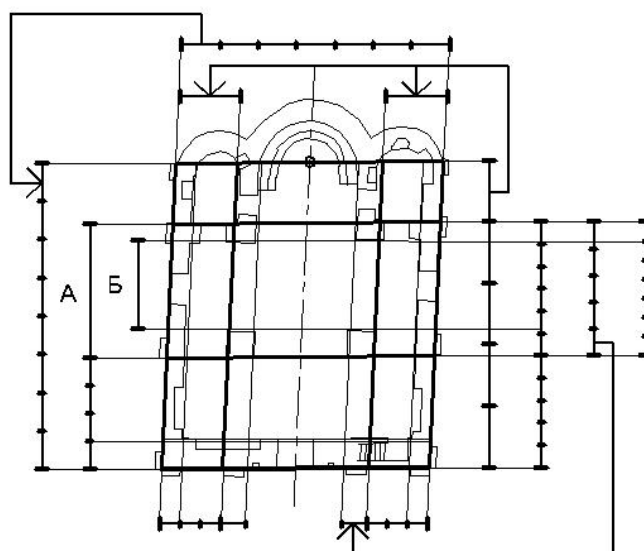


Рис. 38. Разбивка плана на строительной площадке и определение дополнительных размеров.

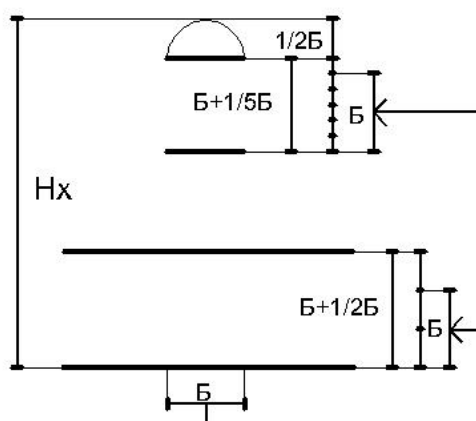


Рис. 39. Предварительная схема для определения высоты второго яруса.

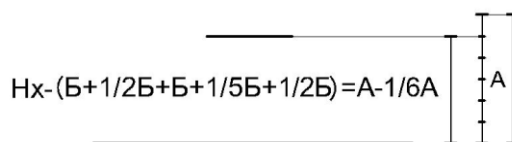


Рис. 40. Перевод размера второго яруса из метрологической системы в модульную.

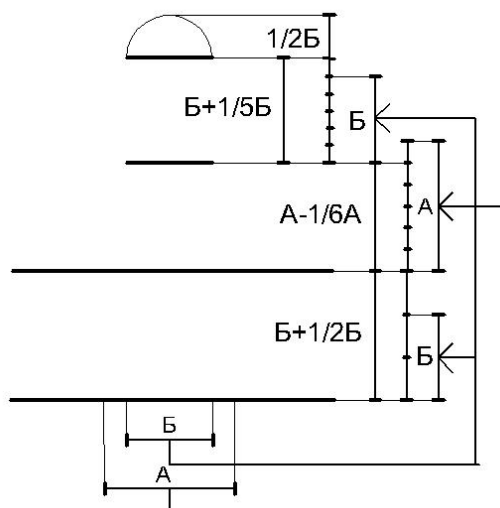


Рис. 41. Окончательная проектная схема основных соотношений ярусов, главы и апсиды в модульной системе.

Рабочая роспись для определения высотных размеров.

Высота хор равна «А». Высота над хорами равна «Б»+2/7«Б». Высота стены барабана равна «Б»+1/5«Б». Высота купола равна 1/2«Б».

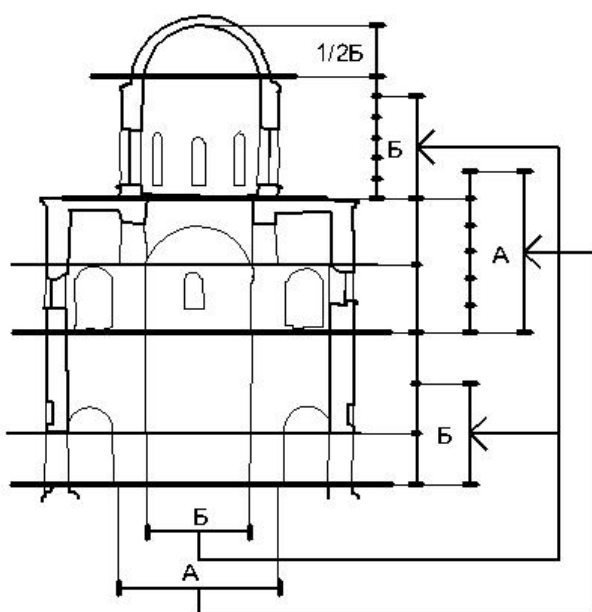


Рис. 42. Определение дополнительных размеров в процессе строительства.

Церковь Покрова на Нерли, 1165 г.

Заказчик – князь Андрей Боголюбский.

Задание. Построить трёхнефный, трёхапсидный, одноглавый храм с хорами в центральном нефе и галереями.

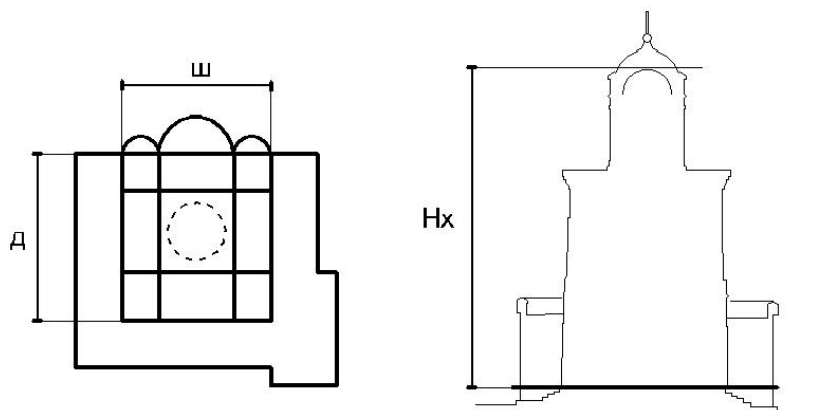


Рис. 43. Схематический план и предварительная высота собора по заданию.

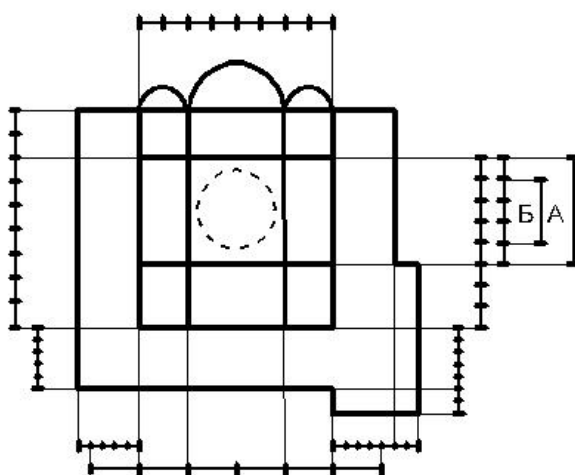


Рис.44. Предварительная схема основных соотношений разбивочной сетки плана и определение соотношений между модулями перехода «А» и «Б».

Рабочая роспись для определения соотношений в плане.

Ширина и длина 8×9 . Размер центрального нефа «А» равен $(2/4 \text{ ширины храма})$. Толщина стены равна $1/5 \langle A \rangle$. Размер между столбами центрального нефа «Б» равен $3/5 \langle A \rangle$.

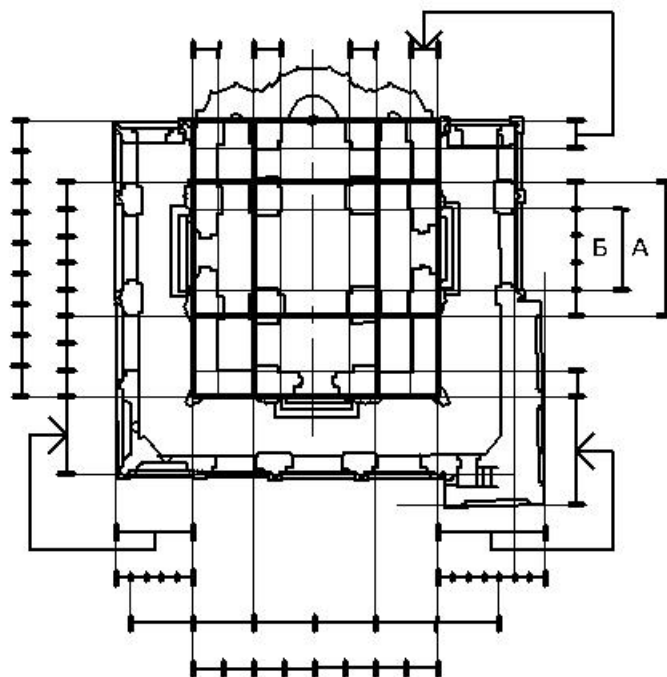


Рис. 45. Разбивка плана на строительной площадке и определение дополнительных размеров.

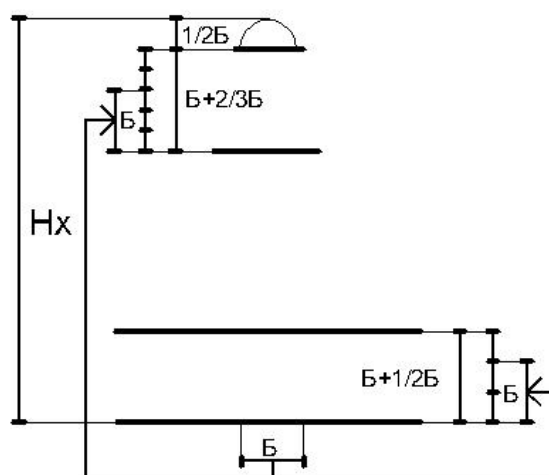


Рис. 46. Предварительная схема для определения высоты второго яруса.

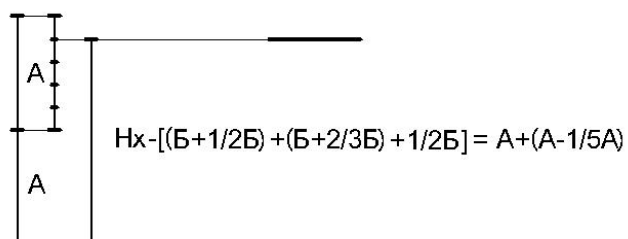


Рис. 47. Перевод размера второго яруса из метрологической системы в модульную.

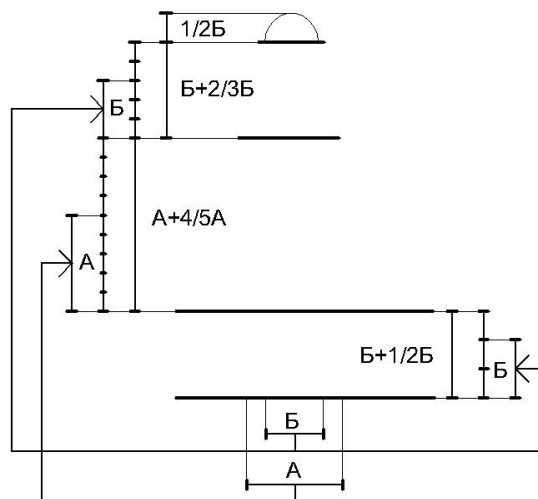


Рис. 48. Окончательная проектная схема основных соотношений ярусов, главы и апсиды в модульной системе.

Рабочая роспись для определения высотных размеров.

Высота хор равна «Б»+1/2«Б». Высота над хорами равна «А»+4/5«А». Высота стены барабана равна «Б»+2/3«Б». Высота купола равна 1/2«Б».

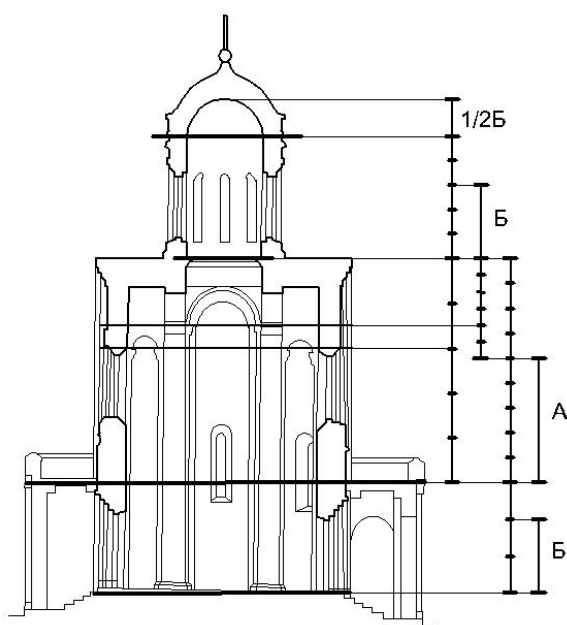


Рис. 49. Определение дополнительных размеров в процессе строительства.

Владимир. Дмитриевский собор 1176-1212 гг.

Заказчик – князь Всеволод.

Задание. Построить трёхнефный, трёхапсидный, одноглавый храм с хорами в центральном нефе и галереями.

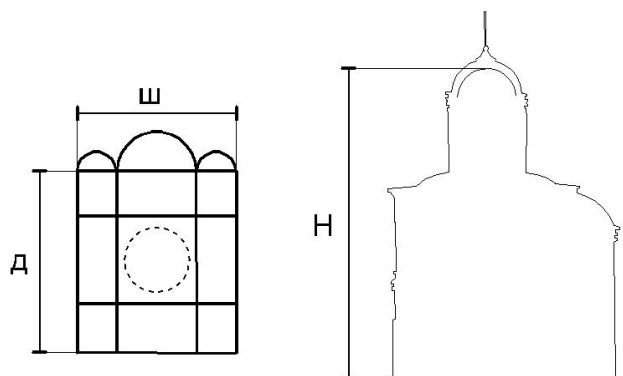


Рис. 50. Схематический план и предварительная высота собора по заданию.

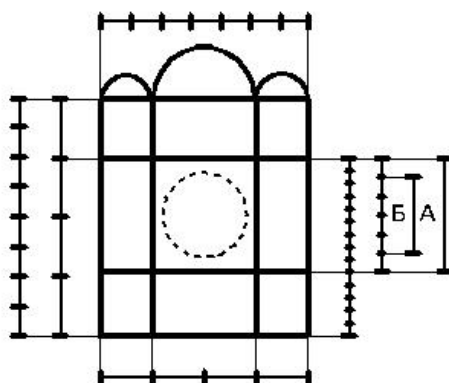


Рис.51. Предварительная схема основных соотношений разбивочной сетки плана и определение соотношений между модулями перехода «А» и «Б».

Рабочая роспись для определения соотношений в плане.

Ширина и длина 7x8. Размеры центрального нефа «А» равен « $\frac{2}{4}$ ширины храма». Толщина стены равна $\frac{1}{6}$ «А». Размер между столбами центрального нефа «Б» равен $\frac{2}{6}$ «А».

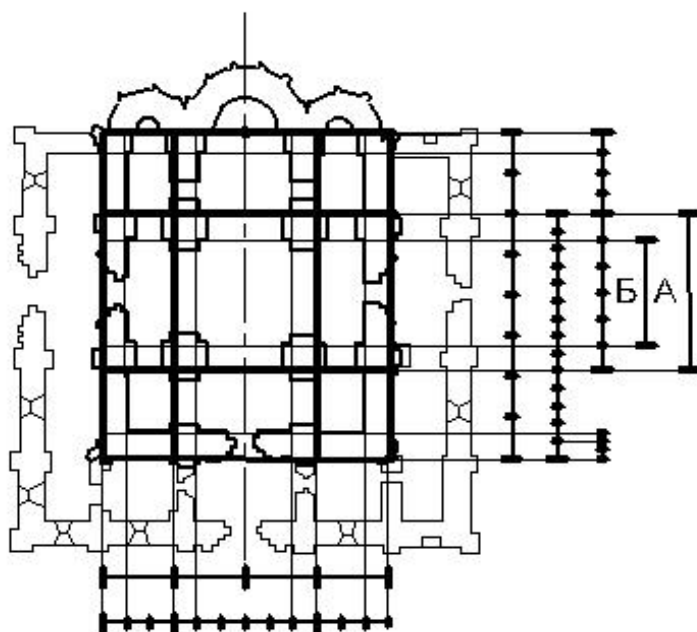


Рис. 52. Разбивка плана на строительной площадке и определение дополнительных размеров.

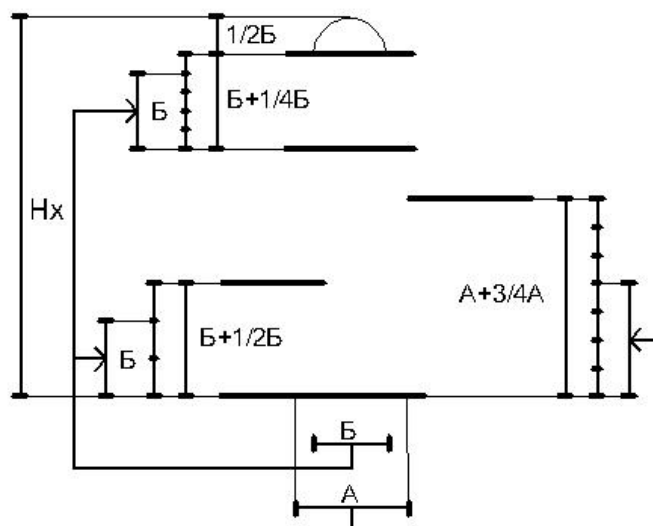


Рис. 53. Предварительная схема для определения высоты второго яруса.

$$A = Hx - [(B + 1/2B) + (B + 1/4B) + 1/2B] = A + 1/5A$$

Рис. 54. Перевод размера второго яруса из метрологической системы в модульную.

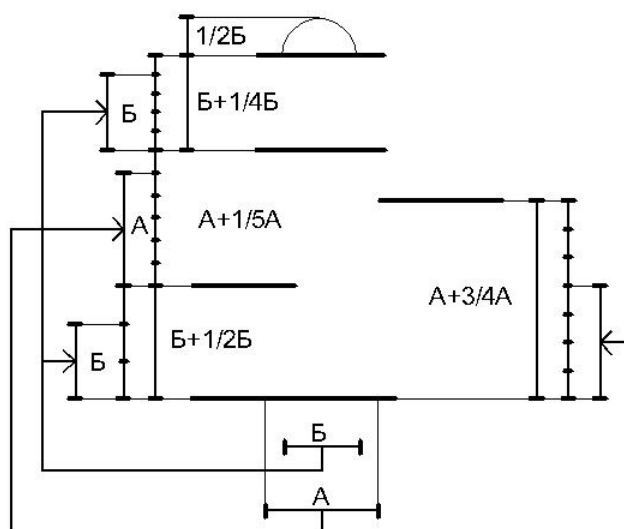


Рис. 55. Окончательная проектная схема основных соотношений ярусов, главы и апсиды в модульной системе.

Рабочая роспись для определения высотных размеров.

Высота хор равна $\langle B \rangle + 1/2 \langle B \rangle$. Высота над хорами равна $\langle A \rangle + 1/5 \langle A \rangle$. Высота стены барабана равна $\langle A \rangle - 1/6 \langle A \rangle$. Высота купола равна $\langle 1/2 B \rangle$. Высота стены апсиды равна $\langle A \rangle + 3/4 \langle A \rangle$.

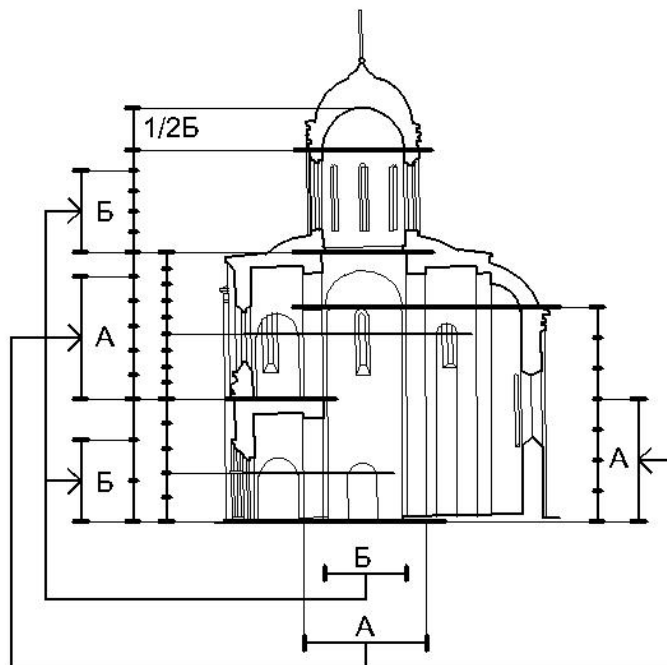


Рис. 56. Определение дополнительных размеров в процессе строительства.

Смоленск. Церковь Архангела Михаила (Свирская), 1180 – 1190 гг.

Заказчик – Давид Ростиславович.

Задание. Построить трёхнефный, трёхапсидный, одноглавый храм с хорами в центральном нефе и притворами.

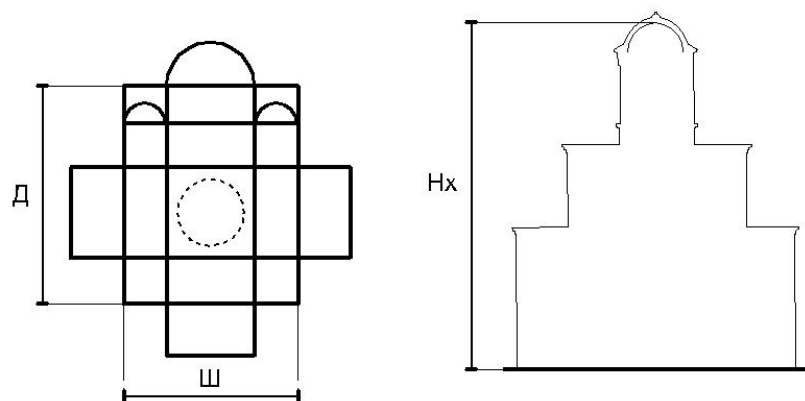


Рис. 57. Схематический план и предварительная высота собора по заданию.

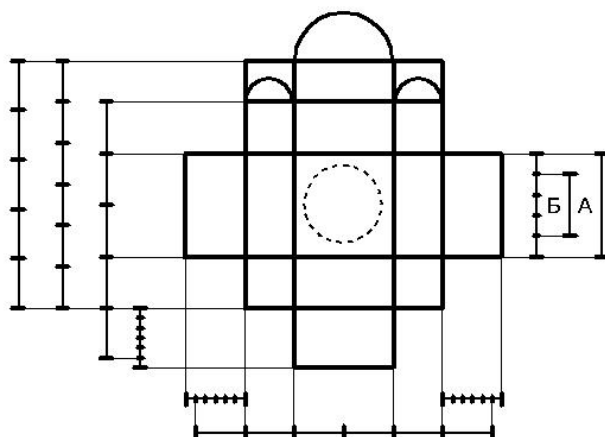


Рис.58. Предварительная схема основных соотношений разбивочной сетки плана и определение соотношений между модулями перехода «А» и «Б».

Рабочая роспись для определения соотношений в плане.

Ширина и длина 4х6. Размеры центрального нефа «А» равна «2/4 ширины храма». Толщина стены равна 1/5«А». Размер между столбами центрального нефа «Б» равен 3/5«А».

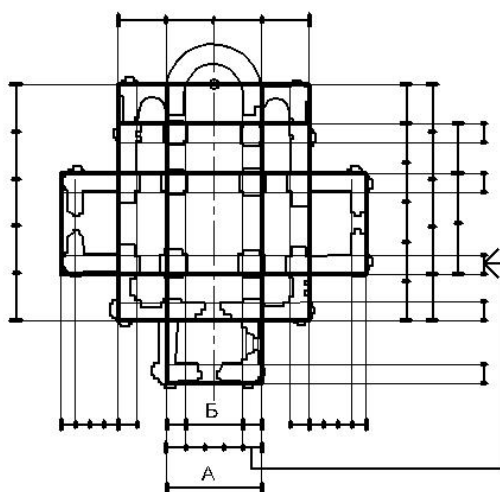


Рис. 59. Разбивка плана на строительной площадке и определение дополнительных размеров.

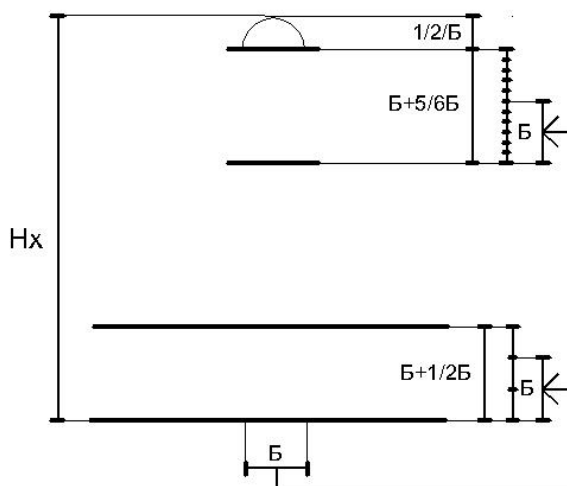


Рис. 60. Предварительная схема для определения высоты второго яруса.

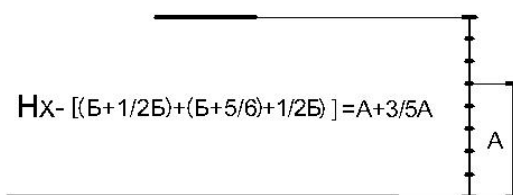


Рис. 61. Перевод размера второго яруса из метрологической системы в модульную.

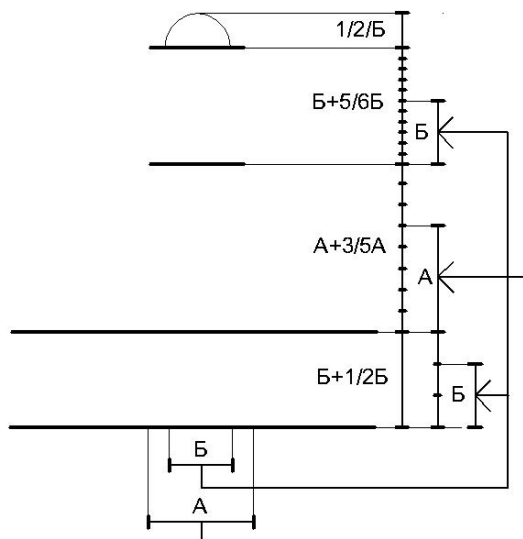


Рис. 62. Окончательная проектная схема основных соотношений ярусов, главы и апсиды в модульной системе.

Рабочая роспись для определения высотных размеров.

Высота хор равна «Б»+1/2«Б». Высота над хорами равна «А»+3/5«А». Высота стены барабана равна «Б»+5/6«Б». Высота купола равна 1/2«Б».

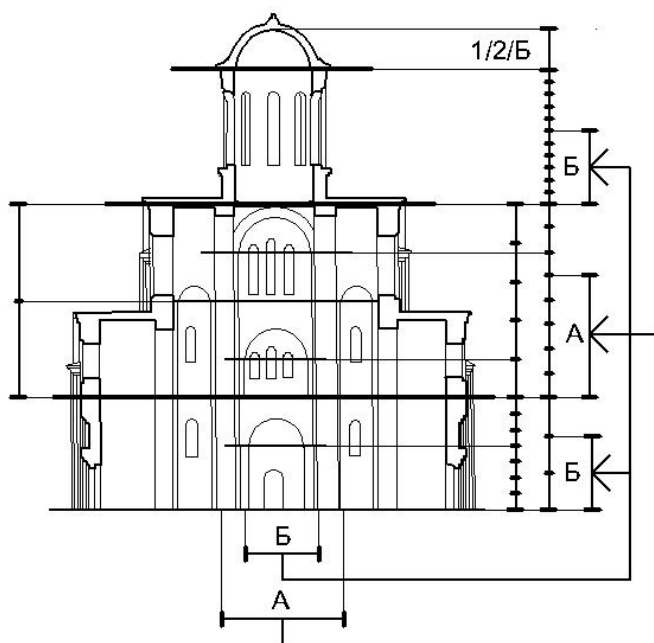
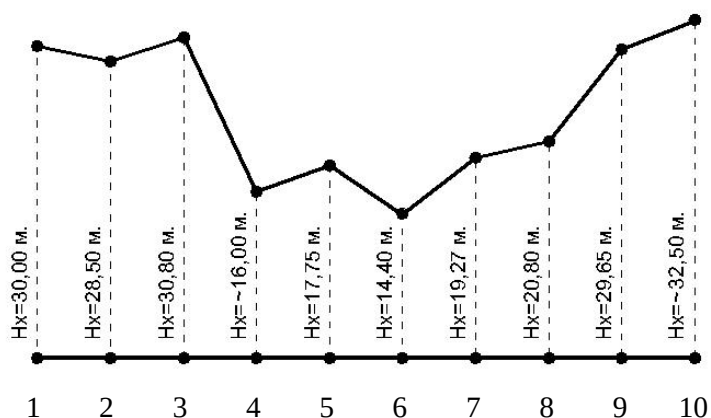


Рис. 63. Определение дополнительных вертикальных размеров в процессе строительства.

В заключении следует сказать, что гипотетическая реконструкция методов проектирования и рабочих методов позволили ответить на поставленные П.А. Раппопортом и И.А. Бондаренко вопросы.

П.А. Раппопорт пишет: *«Несомненно, что древнерусские зодчие должны были обладать какой-то эмпирически разработанной, а затем ставшей традиционной, чёткой системой построений, которая позволяла им заранее определять основные размеры частей здания как в плане, так и по высоте. Система эта должна была быть гибкой, поскольку различия в пропорциональных построениях разных памятников домонгольского зодчества очень велики, что свидетельствует о широких возможностях мастера разнообразить принимаемые им решения. В то же время система должна была быть достаточно точной»* [11].

Гибкая система, о которой говорит П.А. Раппопорт, была разработана во время проектирования Софийского собора в Новгороде после того, как заказчик задал высоту храма независимо от размеров в плане. В настоящей статье эта гибкая система названа «МЕТОД ВЫЧИТАНИЯ» для проектирования. Видимо зодчие достаточно быстро оценили потенциал, заложенный в таком методе и в дальнейшем метод вычитания стал традиционным в проектировании и позволил зодчим создавать храмы различных пропорций (Рис. 64).



1. Чернигов. Спасский собор, 1036 г.
2. Киев. Софийский собор, 1037 г.
3. Новгород. Софийский собор, 1045-1052 гг.
4. Псков. Собор Ивановского монастыря начало XII в.
5. Церк Псков. Спасо-Преображенский собор Мирожского монастыря, 1140-1150 гг.
6. Старая Ладога. Георгиевская церковь, ок. 1156 г.
7. Старая Ладога. Успенская церковь, XII в.
8. Церковь Покрова на Нерли, 1156 г.
9. Владимир. Дмитриевский собор, 1176-1212 гг.
10. Смоленск. Церковь Архангела Михаила (Свирская), 1180 – 1190 гг.

Рис.64. График соотношений высот.

Предположим, что князю Володимиру не пришла бы мысль построить Софийский собор в Новгороде выше одноимённого собора в Киеве, несмотря на габаритные размеры плана. Тогда бы все храмы возводились бы с использованием метода сложения. При этом

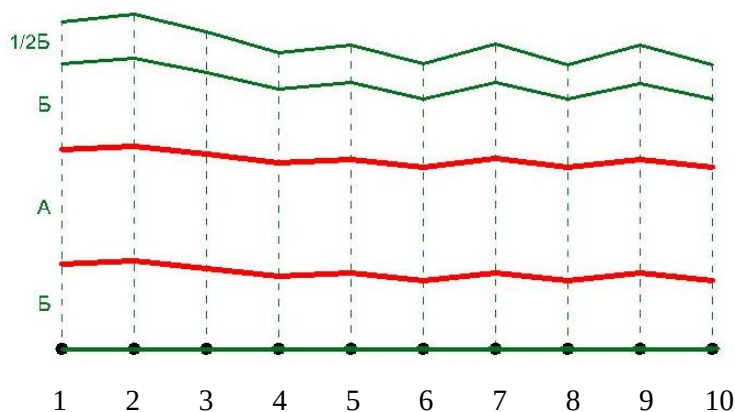


Рис. 65. График соотношений высот из условия, что во всех храмах модуль перехода «А» равен.

соотношение высоты к ширине было бы практически постоянным. В этом можно убедиться, если привести к единому размеру модуль перехода «А», а модуль перехода «Б» привести в соответствие с «А», что мы и видим на графике (Рис. 65).

На графике (Рис. 66) показаны в хронологическом порядке высотные размеры храмов и их частей. Из графика видно, что к концу XII в. высота храмов постепенно увеличивается. Этот процесс отмечался исследователями и раньше.

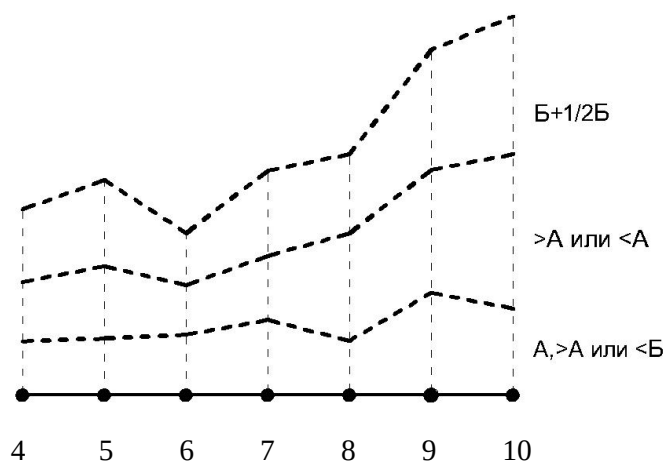


Рис. 66. График высот храмов при использовании метода вычитания.

На совмещённом графике (Рис. 67) видно, что если бы применялся метод сложения (на графике сплошная линия), то с уменьшением габаритных размеров планов уменьшалась бы как общая высота, так и высота ярусов. Применение в проектировании метода вычитания (на графике пунктирная линия) высота храмов увеличивается независимо от габаритных размеров плана.

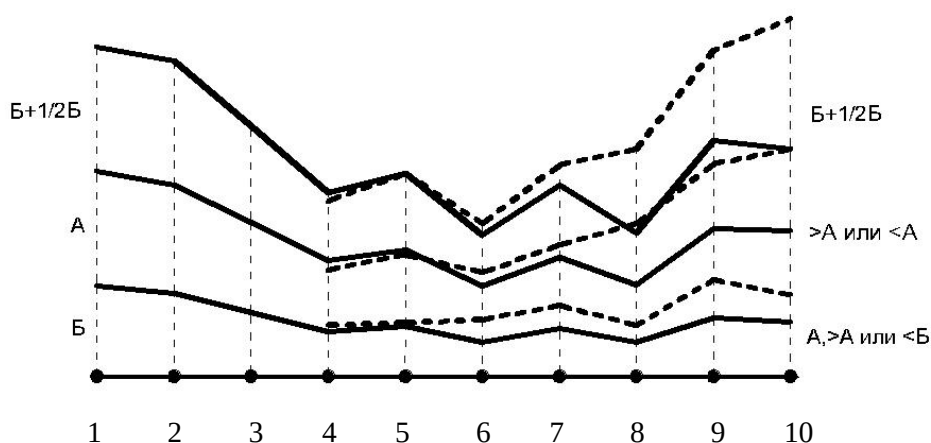


Рис. 67. График высот храмов при использовании метода сложения и метода вычитания.

Видимо, начиная с XII в., зодчие стали искать наилучшие пропорции храма, отвечающие представлениям о их красоте опираясь на эмпирический пропорциональный анализ выбранного аналога. На графике (Рис. 68) видно, что поиск отношений проходил поступательно.

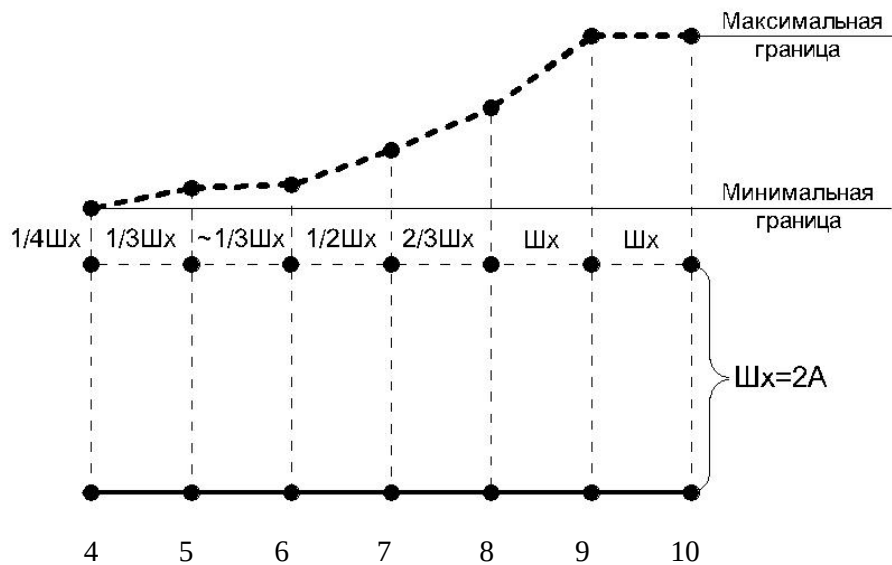


Рис. 68. 1. График соотношений высот при использовании метода вычитания из условия, что во всех храмах ширина равная.

В использовании метода вычитания при проектировании видимо и состоит загадочный «особый русский путь» в пропорционировании, так как выбор высоты сооружения зависел от заданной высоты, которая определялась эмпирически из высоты ранее построенного храма, принятого за аналог.

И.А.Бондаренко пишет: «.... Для успеха дела необходимо реконструировать, по мере возможности, сам творческий метод разбивки плана здания и определения вертикальных размеров: нам очень плохо известно, как определяли габариты - в свету или в осях, от фундамента или от чистого пола и до основания перекрытия или до самого венчания?». [12].

В настоящей статье, которая посвящена проектированию, мы только коснулись тем, интересующих И.А.Бондаренко. Реконструкция рабочего метода была изложена в ранее опубликованной книге [4].

Выше мы говорили о методах определения габаритных размеров в процессе проектирования и строительства. Теперь несколько слов следует сказать о пропорционировании. В книге [13] говорится, что «рабочий метод гармонизации габаритных размеров архитектурно-конструктивных элементов и здания в целом предлагается рассматривать как сумму трёх неразрывно связанных между собой частей:

- 1) пропорционирование (эстетическое в объективной действительности);
 - 2) метод определения габаритных размеров;
 - 3) пропорциональный анализ (субъективно-эстетическое или эстетическое сознание).
- Так же говорится о том, что пропорционирование бывает: эмпирическое, теоретическое, ассоциативное и конструктивное». Реконструкция методов проектирования на Руси

показала, что в этот перечень надо добавить **аналоговое пропорционирование**. Если в основе теоретического и ассоциативного пропорционирования были философские мировоззрения, то в основе аналогового пропорционирования лежал эмпирический пропорциональный анализ.

Список литературы.

1. Тиц А. А. Загадки древнерусского чертежа. М., Стройиздат, 1978, С. 7.
2. Для «Хранителей Наследия» - комментарий директора археологии Российской академии наук Николая Андреевича Макарова.
3. Степанов М.В. Рабочие методы архитекторов Эллады. СПб. Изд. «Нестор-История», 2011.
4. Степанов М.В. Рабочие методы древнерусских зодчих. СПб., Изд. «ЗОДЧИЙ» 2013. Книга размещена в библиотеке «РусАрх»: 2015 г.
5. Витрувий. Десять книг об архитектуре. Изд. ВАА, М., 1936. Кн. III, гл. III, 13.
6. Там же Кн. III, гл. IV, 5.
7. Там же Кн. III, гл. V, 8.
8. Там же Кн. V, гл. V, 6.
9. Там же Кн. IX, вст. 7, 8.
10. Симонов Р.А. Математическая мысль Древней Руси. М., Изд. «НАУКА» 1977, С. 44.
11. Раппопорт П.А. Строительное производство Древней Руси (X–XIII вв.). СПб: Наука, 1994. С. 109.
12. Отзыв на диссертацию Радзюкевича А.В. на тему «Методические основы проведения пропорционального анализа форм памятников архитектуры», доктора архитектуры, член-корреспондент РААСН, зам. директора по научной работе НИИТАГ И.А.Бондаренко.
13. Степанов М.В. Рабочие методы архитекторов Эллады. СПб., Изд. «Нестор-История», 2011. С.

Приложение.



Фрагмент чертежа на осколке плинфы из раскопок древнего храма-усыпальницы на территории Спасо-Евфросиньева монастыря в г. Полоцке 2017 г.