

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кемеровский государственный университет»  
Центр довузовской подготовки

III Областная научно – практическая конференция «Диалог»

**Физика**

## **Звучание колокольного звона вчера и сегодня**

*Автор:*

Лазуков Михаил

*Класс:* 8

МБОУ «Школа № 14»

*Город:* Полысаево

*Научный руководитель:*

Сапсина С.М.,

учитель физики

## Содержание

Введение.....	3
История колоколов.....	5
Технология производства колоколов.....	7
От чего зависит звучание колокола? .....	8
Влияние современных технологий на колокольный звон.....	12
Колокола храма Николая Чудотворца г.Полысаево.....	14
Заключение.....	16
Литература.....	17
Приложение.....	18

## **Введение**

**Актуальность исследования.** По Библии, «вначале было Слово», при помощи которого Бог творил нашу Вселенную. Согласно теории физиков, Вселенная возникла приблизительно 14 млрд. лет назад в результате грандиозного большого Взрыва, т.е. посредством Звука и Света. Вся Вселенная пронизана звуком, светом, ритмическими пульсациями Солнца, Луны, планет, звёзд, галактик. И всё это воздействует на воздух, воду, землю, все живые организмы, в том числе и на человека. Сегодня всеядный индустриальный шум заглушил все звуки природы, но среди привычного городского шума улиц, машин, есть звук, который не оставляет никого равнодушным – звучание колокола. Многие десятилетия колокола России молчали. В настоящее время колокольный звон возвращается в нашу жизнь. Возрождение искусства русского звона делает сегодня особенно актуальным обращение к изучению качества звучания отечественных колоколов. Эта тема навеяна временем и духовным возрождением России.

**Проблема:** каким образом звучания колоколов может зависеть от их физических характеристик и внедрения современных технологий при производстве колоколов?

**Целью** данной работы является исследование зависимости качества звучания колоколов от его физических характеристик и внедрения современных технологий при производстве колоколов.

### **Задачи:**

1. Изучить литературу об истории возникновения колоколов, о процессах изготовления колокола.
2. Рассмотреть зависимость звучания колоколов от его массы и размеров.
3. Рассмотреть звуковые особенности старинных и современных колоколов, связанных с изменением их производства как в прошлом, так и в настоящем.

**Методы исследования:** изучение литературы по данной теме, эксперимент, анализ, обобщение и описание.

**Гипотеза:** мы предполагаем, что высота звучания колокола зависит от его размеров и массы.

**Объект исследования** – колокола.

**Предмет исследования** – звучание колокола.

**Практическая значимость:** материалы исследований могут быть использованы на уроках музыки, занятиях спецкурсов по физике, а также будут интересны всем увлекающимся современными технологиями.

## История колоколов

Колокол – ударный сигнальный инструмент. Изготавливается из бронзы. Имеет звук определенной высоты, который извлекается



Рисунок 1

раскачиванием самого колокола или языка [1, С. 440]. По-латыни слово «колокол» означает созыв, по-гречески – зов. Русские колокола имеют форму усечённого конуса наподобие толстого колпака с расширенным раструбом. Колокол, как и многие инструменты, - антропоморфен,

т.е. его части соответствуют человеческим органам. Верхняя часть его называется голова или корона, отверстия в ней – уши, далее шейка, плечи, пояс, юбка или рубаха. Внутри колокола подвешивается язык с утолщением в конце, им бьют по краю колокола, который называется губой [6] (рис. 1).

Точная дата появления колоколов и имя изобретателя неизвестна. По археологическим находкам известно, что еще задолго до нашей эры у многих народов мира были колокольчики и бубенчики. Есть предание, которое связывает появление колоколов в Европе с именем епископа Павлина Нольского. По легенде, епископ Павлин по дороге в монастырь устал и прилег отдохнуть в поле. Во сне он увидел чудесно звенящие, напоминающие ангельские голоса полевые колокольчики. Он же и повелел отлить первые европейские колокола.

В средние века из церковного предмета колокол превращается в светский и становится первым в истории средством массовой информации. Средневековый горожанин получал с помощью колокола самую разнообразную информацию: «хлебный» в Турине подавал сигнал замешивать тесто (Приложение 1, рис 1), а «трудовой» в Аахене был прообразом фабричных гудков (Приложение 1, рис. 2). «Пивной» в Гданьске

разрешал открываться харчевням (Приложение 2, рис 1), а «колокол бедного грешника» – о казни (Приложение 2, рис 2), [4].

На Руси колокол появился в X веке, первое его назначение – созывать народ в храмы. Многие колокола окружены тайнами. По приказу царя Ивана III колокол с Софийской звонницы был снят и отправлен в Москву, чтобы не проповедовал вольницу. Интересно, что до Москвы новгородский пленник не добрался: на одном из склонов Валдайских гор колокол слетел с саней и разбился вдребезги. Но, по преданию, какая-то неведомая сила превратила множество мелких осколков в маленькие колокольчики. [5] (Приложение 3, рис. 1).

Колокол в городе Угличе звонил в 1591 г. по поводу того, что тайно был убит царевич Дмитрий. «За донос» его высекли двенадцатью ударами кнута и с вырванным языком отправили в Сибирь, в город Тобольск [2. С. 252] (Приложение 3, рис 2).

Особое место среди всех колоколов в мире занимает «Царь колокол», пострадавший от страшного пожара в процессе изготовления. Раскалённый колокол от резкой перемены температуры дал много трещин, и от него отвалился кусок весом 11,5 т. После пожара Царь-колокол пролежал в яме целое столетие. И только в 1836 году он был поднят и установлен на постамент. Такова судьба величайшего в мире колокола, который так никогда не звонил [7]; (Приложение 4, рис 1).

Отличие часовых колоколов Спасской башни от церковных в том, что у них отсутствуют языки и серьги, а перезвон и удары производятся снаружи при помощи молотков, которые приводит в движение часовой механизм [6]; (Приложение 4, рис 2).

Колокольный звон приветствовал возвращающихся с победой на родную землю русских воинов. Если колокол умолкал, это означало, что родину постигло несчастье. Колокола покоренного города были желанными трофеями для победителя. Для опального города не было большей кары, чем лишение колокола.

## Технология производства колоколов

Колокола отливали во многих странах мира. Но нигде колокольное дело не достигло такого совершенства, как в России.

Технология производства колоколов отработана давно и практически остается неизменной. В сжатом и упрощенном изложении технология такова. В огромной яме сооружали кирпичный «болван» и глиняную форму. Рядом в печи плавилась медь. Только за 5-7 минут до отливки к ней добавляли олово. Некоторые мастера бросали в расплавленную массу серебряные монеты. Серебро придаёт более открытое и звонкое звучание, сталь – более замкнутый звук. В литейной яме из кирпича выкладывался пустотелый с плоской вершиной конус – «стержень». На него по шаблону наносили слоями глину, образуя таким образом внутренний контур колокола. После просушки вновь накладывалась глина по толщине будущих стенок колокола. Это – «ложный колокол». Когда он был готов, на нём укрепляли сделанные из воска надписи и украшения. Затем вновь наносилась глина, слои которой теперь прокладывались проволокой и укреплялись железными рёбрами, а по верху схватывались железными обручами с крючками. Так делался «кожух» или «рубашка». Верхний слой – «рубашка» – осторожно снимался, средний слой – «ложный колокол» – аккуратно выламывался, «рубашка» возвращалась на прежнее место. В пустоту, образовавшуюся после удаления «ложного колокола», заливался металл (Приложение 5). Дождавшись, пока колокол остынет, его поднимали из ямы и приступали к очистке и окончательной отделке.

Части колоколов так соразмерны, что дают три тона: первый – в месте удара, второй – (полутон верхнего) на середине колокола, третий (на целую октаву ниже) – вверху. Специалисты оценивают звучание колокола с первого удара и, если слышат дисгармоничный звук, обычно говорят: «кастрюля» [8].

### От чего зависит звучание колокола?

Многовековой опыт русских мастеров показал, что звучание и тональность колокола зависят от веса, формы, качества литья. Сто одинаковых колоколов, отлитых на одном производстве, будут иметь неповторимый голос – влияет и температура заливки и то, как металл остывал.

У каждого колокола есть основной тон, соответствующий высоте его звучания, и богатый, характерный только для него набор добавочных тонов [3. С.14]. Самый низкий тон колокола – это тон гудения. Принято, что высота этого тона рассчитывается по формуле Хладни:  $F \sim \frac{T}{D^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{P}}$ , где F – частота звучания, T – толщина, D – диаметр, E – модуль упругости (модуль Юнга), P – плотность материала [6].

Для исследования мы выбрали акустические данные по колоколам звонницы Успенского собора Ростовского Кремля:

Название колокола	Когда и кем отлиты	Масса	Диаметр на срезе	Частота в 1884 г.	Частота в 1999 г.
Сысой	1688 год Флор Терентьев	32760 кг	3630 мм	65,46 Гц.	57,43 Гц.
Полиелейный	1683 год Филипп и Киприан Андреевы	16380 кг	2860 мм	81,64 Гц	71,99 Гц
Лебедь	1682 год Филипп Андреев	8190 кг	2270 мм	98,00 Гц	90,22 Гц
Голодарь	1856 год завод Чарышникова	2803 кг.	1710 мм	100,69 Гц	93,66 Гц
Баран	1654 год (?)	1310 кг	1260 мм	154,28 Гц	148,55 Гц
Красный	17 век (?)	491 кг	1075 мм	184,625 Гц.	188,56 Гц
Козел	1911 год з-д Оловянишникова	304 кг	760 мм	–	226,17 Гц
Ионафановский	1894 год	106 кг	545 мм	–	328,32



	3-д Оловянишникова				Гц
Безымянный-1	17 век (?)	176,6 кг	635 мм	294,00 Гц	290,69 Гц
Безымянный-2	17 век (?)	141 кг	630 мм	251,00 Гц	247,67 Гц
Безымянный-3	17 век (?)	80,6 кг	506 мм	327,81 Гц	322,78 Гц
Зазвонный-1	17 век (?)	76,6 кг	493 мм	379,25 Гц	380,45 Гц
Зазвонный-2	17 век (?)	41,85 кг	410 мм	429,14 Гц.	430,92 Гц
Зазвонный-3 или Ясак	17 век (?)	24 кг	343 мм	522,00 Гц	516,98 Гц.

(Приложение б).

Анализируя данную таблицу можно сделать следующие выводы:

- Чем больше масса и размеры колокола, тем меньше частота его звучания, а, следовательно, и ниже его основной тон.
- С увеличением возраста колокола уменьшается частота его звучания.

Это можно объяснить, используя формулу Хладни. Со временем толщина, диаметр и плотность материала не изменяются, но из-за разрыхления бронзы уменьшается её упругость, а, следовательно, и модуль упругости Юнга, вследствие этого падает частотная характеристика колокола. Отсюда можно сделать вывод, что любой колокол имеет свой срок жизни и наступит время, когда в результате такого «разрыхления» он разрушится.

- Массы колоколов, построенных по одному профилю, относятся между собою, приблизительно как кубы диаметров:  $\frac{M}{m} = \frac{D^3}{d^3}$

Мы исследовали эту зависимость на однотипных колоколах Сысой и

Полиелейный:  $\frac{32760}{16380} = \left(\frac{3630}{2860}\right)^3 \rightarrow 2 \approx 2,09$

Полиелейный и Лебедь:  $\frac{16380}{8190} = \left(\frac{2860}{2270}\right)^3 \rightarrow 2 \approx 2,06$  (Приложение 11).

Из всех материалов наилучшим для изготовления колоколов является бронза, состав которой: 4 части меди и 1 часть олова. Медь и олово – мягкие материалы, но в сплаве делаются твердыми. В сплаве присутствовали и примеси: свинца, цинка, железа (этого просто не избежать). При литье колоколов важно соблюдать процентное соотношение олова и меди в материале, поскольку избыток олова придает колоколу звонкость, но делает бронзу более хрупкой.

«Язык» колокола изготавливают из железа. Масса его обычно составляет  $1/25$  от массы колокола, а форма зависит от способа возбуждения звука, первый – язык неподвижен, раскачивается чаша колокола, которая ударяется о язык (способ качающегося колокола); его используют на Западе. Второй – чаша неподвижна, а с помощью шнура движется язык. Это русский способ звона. Его преимущества в том, что раскачивание только одного языка не оказывает сильного воздействия на саму башню, где помещается колокол, что позволяет использовать колокола больших размеров; при таком раскачивании не возникает резонанс с колокольной, который мог бы её разрушить. В Европе колокола настраиваются только на одну ноту, а обертоны убираются. При любом ударе такой колокол издаёт только один определённый звук, как при нажатии клавиши фортепиано. А из нашего колокола можно извлечь целую гамму звуков [6].

Рассмотрим физический механизм звучания колокола. При ударе языком колокола о стенку бронзовой чаши возникает её упругое дрожание, которое представляет собой сумму многих собственных колебаний звуковой частоты. Устройство русского колокола таково, что его звучание – это дуэт металла и столба воздуха в нём, который приходит в колебательное движение с частотой, равной частоте колебаний стенок. Благодаря резонансу возрастает амплитуда и, как следствие, – громкость звука.

Физики открыли, что в звуковом спектре колокола, присутствуют неслышные звуки – ультразвук и инфразвук. Наше ухо не воспринимает их,

но человек – биологическая система, и поэтому, так или иначе, отзывается на их воздействие.

Колокола размещают на колокольнях или на звонницах (Приложение 7). В их устройстве тоже используется явление резонанса, причём с древних времен. Так, в верхней части колоколен и звонниц располагаются «слухи» – отверстия (окошечки, убывающие по величине к вершине). Размеры отверстий делаются такими, чтобы частота колебаний столба воздуха в них совпадала с частотой звучания колокола. Кроме того, в толщу стен иногда встраивают пустые глиняные кувшины или горшки – «голосники», которые выполняют такую же роль, как и «слухи». На звонницах и колокольнях размещали обычно сразу несколько колоколов. Звон каждого дополняет звучание других, создавая согласие и гармонию звука, неповторимую мелодичность и выразительность [7].

Колокола на Руси были излюбленным музыкальным инструментом. Существовал обычай: допускать в пасхальную неделю на колокольню любого желающего. Поговорка гласит: «В светлую седмицу кто не звонарь». Играть на колоколе непросто. Дергать надо за верёвки многопудовые языки. За границей придумали своеобразные инструменты-приставки, где исполнитель сидит за клавиатурой, правда необычной: клавиши длинные и широкие, иногда ножные; от клавиатуры к колоколам идёт система тяг и рычагов. В России это не прижилось. Звонари считают, что в этом случае колокольная музыка получается невыразительной.

## **Влияние современных технологий на колокольный звон**

Технический прогресс стремительно проникает в нашу жизнь, в том числе и в Церковь. Сегодня работа мастера над будущим колоколом начинается с расчётов и построения чертежа его профиля. Обычно заказчик определяет массу нужного ему колокола, но иногда задаётся и его основной тон, и то и другое зависит от определённого соотношения размеров всех частей формы колокола [9] (Приложение 8, рис 1). Диаметр нижней части в нём должен быть равен высоте колокола, а диаметр верхней части – половине диаметра нижней. Когда чертёж будущего колокола готов, по нему изготавливаются два лекала: для внутреннего профиля колокола и для наружного. Сейчас колокола заливаются в готовые формовочные смеси на основе силиката или гипса, при этом форма будущего колокола помещается в металлическую опоку (Приложение 8, рис 2). Плавят металл сегодня, как правило, в индукционных печах, что, стоит отметить, даёт плотную структуру металла. Современные колокола извлекают из формы практически сразу. Для небольших колоколов этот срок может составлять несколько часов, а для больших – несколько дней. Старинные колокола остывали в литейной яме месяцами, при этом процесс охлаждения металла происходил постепенно.

Современные производители зачастую нарушают правильные пропорции колокольной бронзы, используя всего 16 % олова. При таком соотношении меди и олова колокольная бронза, с одной стороны, становится крепче, но, с другой стороны, звук колокола становится совсем плохим. Не получается у современных колоколостроителей точно повторить звук старых колоколов, используя новые материалы. Вверху колокола возникает какой-то посторонний шум, которого не было в старых колоколах. Это происходит по причине невозможности полностью восстановить состав металла, так как материалы сегодня совсем другие. Нельзя сегодня достать ни «демидовскую штыковую», ни «колпашную» медь. До недавнего времени считалось, что, чем чище медь и олово, тем лучше звучание колоколов. А

оказалось, что старый профиль колокола – до миллиметра – был рассчитан под примеси. Также в старину расплав мешали еловыми жердями, жердь горела, обугливалась. Наверху появлялся слой угля, он покрывал бронзу и не позволял ей поглощать кислород из воздуха, процесс окисления бронзы происходил медленнее.

Некоторые мастера для достижения качества отливаемых колоколов применяют технологию моделирования из воска, что, по их мнению, предоставляет неограниченные возможности художественного оформления, изменение геометрии тела колокола, а также даёт возможность изменить тональности звучания. Компьютерное моделирование звучания колоколов применяется в основном для европейских октавных колоколов. При этом надо отметить, что существует аксиома campanологии (наука о колоколах): никогда на практике отлитый колокол не звучал так, как его проектировали. При строительстве Храма Христа Спасителя, был проведён конкурс, в ходе которого лучшими по звучанию были признаны колокола, отлитые на базе завода ЗИЛ. При этом, как считает главный звонарь храма И.В. Коновалов: «объединить качество звука и внешнюю красоту, к сожалению, не получилось» [9].

В последнее время в церковной среде все чаще звучит словосочетание «электронный звонарь». Электронный звонарь – это устройство, которое устанавливается на колокольне и, имитируя движения рук и ног звонаря, воспроизводит колокольный звон на настоящих колоколах. Изначально он создавался для того, чтобы в тех храмах, где нет настоящего звонаря, звучал колокольный звон (Приложение 9). Так же стоит отметить, что сегодня колокола пытаются подменять гонгами и металлофонами – пластинами, называемыми билами. При этом не только не обращают внимания на совершенно другой звук, но и забывают о внутреннем содержании, символике.

## Колокола храма Николая Чудотворца г. Польшаево

В ходе беседы с протоиереем Александром храма Николая Чудотворца г. Польшаево мы выяснили, что все 5 колоколов данного храма были отлиты на заводе по производству колоколов в Каменске-Уральском компанией «Пятков и К».

В 1996 году колокола были привезены и подняты на колокольню при храме. Также мы выяснили, что при строительстве храма «голосники» не были установлены.

При осмотре колокольни мы выяснили, что там есть четыре слуховых окна, убывающих по величине к вершине (Приложение 10). Массу колоколов мы узнали у протоиерея Александра, а измерение их размеров произвели самостоятельно. Так как у данных колоколов храма нет названий, в таблице мы их пронумеровали.

№ колокола	Масса колокола (кг)	Высота колокола без короны (см)	Нижний диаметр (см)	Верхний диаметр (см)
1	90	45	50	25
2	24	37	43	22
3	16	22	28	14
4	12	21	25	12
5	8	18	22	11

Анализируя данную таблицу, можно сделать следующие выводы:

1. Диаметр нижней части колокола приблизительно равен его высоте без короны. (Измерения полной высоты колоколов не были произведены из-за большой высоты их подвеса).
2. Диаметр верхней части равен половине диаметра нижней.
3. Для колоколов: 3 и 4, 4 и 5 построенных по одному профилю, справедливо отношение

$$\frac{M}{m} = \frac{D^3}{d^3}, \quad \frac{16}{12} = \left(\frac{28}{25}\right)^3; \rightarrow 1,3 \approx 1,4 \text{ (Приложение 11)}.$$

Как нам пояснил протоиерей Александр, самый большой колокол создаёт основу всего звучания, у него самый низкий тон. Остальные колокола распределяются по голосам: низкие, средние, высокие. Также мы выяснили, что, несмотря на нехватку профессиональных звонарей, электронного звонаря в данной церкви нет. Позвонить нам в колокол в тот день не разрешили, но мы получили приглашение позвонить во все колокола в пасхальную неделю.

## Заключение

В ходе проведённого исследования мы выяснили, что колокол – это неповторимое слияние веры и искусства, физики и лирики. Колокола, проделав большой исторический путь, стали для России неотъемлемой частью жизни русского человека. Все важные события освещались звоном колоколов. С древних времён колокольный звон является великой объединительной силой, силой, которая поднимает народ на защиту своей Родины.

Отличительной чертой русских колоколов является их звучность и певучесть, что достигается следующими средствами:

1. Точную пропорцией меди и олова, иногда с добавлением серебра.
2. Правильной пропорцией самого колокола: высотой колокола и его шириною.
3. Правильным подвешиванием колокола.

Производство колоколов невозможно без тщательных математических расчётов, а их красивое звучание без законов физики. Чем больше масса и размеры колокола, тем меньше частота его звучания, а, следовательно, и ниже его основной тон, что полностью подтверждает гипотезу нашего исследования.

Сейчас на Руси происходит становление и возрождение колокольного звона как музыкального искусства. Отливаются новые колокола, формируются новые звонницы, воссоздаются традиции древнего звона. Появилась возможность быстрого изготовления колоколов, но, отливаемые по современным технологиям, они уступают старинным по благозвучию. В заключение хотелось бы вспомнить слова русской поэтессы Е. Растопчиной:

Русь, благословенная моя!

Познать тебя не хватит целой жизни:

Твоих церковей златые купола,

И многовещий звон колоколов Отчизны.



## Литература

1. Большая Советская Энциклопедия [Текст] / Гл. Ред. А. М. Прохоров. В 30-ти томах. Т. 12. – М.: Советская Энциклопедия, 1973. – С. 440.
2. Карамзин, Н. М. История государства Российского [Текст] / Н. М. Карамзин. – Калуга: Золотая аллея, 1993. – 592 с.
3. Слепинин, К. Азы православия [Текст] : Руководство обретшим веру / К. Слепинин. СПб. : СТАТИСЪ, 2004. – 88 с.

### *Электронные ресурсы*

4. Духовно-нравственное воспитание. Колокола [Электронный ресурс] . – Режим доступа : [http://tulgancdod.ucoz.ru/klassnyj\\_chas\\_kolokolnyj\\_zvon.doc.vashpsixolog.ru](http://tulgancdod.ucoz.ru/klassnyj_chas_kolokolnyj_zvon.doc.vashpsixolog.ru), свободный. – Загл. с экрана.
5. История колоколов и колокольного звона [Электронный ресурс] . – Режим доступа : [http://kir kino.ru/index.php?cat=10&doc=93 2](http://kir kino.ru/index.php?cat=10&doc=932), свободный. – Загл. с экрана.
6. Колокольные звоны России [Электронный ресурс] . – Режим доступа : [http://www.zvon.ru/article3.view2.page4.part11.html/petrovskij.com>article/choice/ tulgancdod.ucoz.ru/klassnyj\\_chas\\_kolokolnyj\\_zvon.doc](http://www.zvon.ru/article3.view2.page4.part11.html/petrovskij.com>article/choice/tulgancdod.ucoz.ru/klassnyj_chas_kolokolnyj_zvon.doc), свободный. – Загл. с экрана.
7. Православный храм и его устройство [Электронный ресурс] . – Режим доступа : <http://v-bлаго.ru/2012-06-01-13-03-47/2012-06-01-14-56-...>, свободный. – Загл. с экрана.
8. Производители колоколов [Электронный ресурс] . – Режим доступа : <http://kolokola.ru/kolokola/kolokola.shtml>, свободный. – Загл. с экрана.
9. Производство колоколов Литье колоколов Построение профиля... [Электронный ресурс] . – Режим доступа : <http://italmas.com>profil>, свободный. – Загл. с экрана.



Рис 1. Хлебный колокол



Рис 2. Трудовой колокол



Рис 1 Пивной колокол в Гданьске

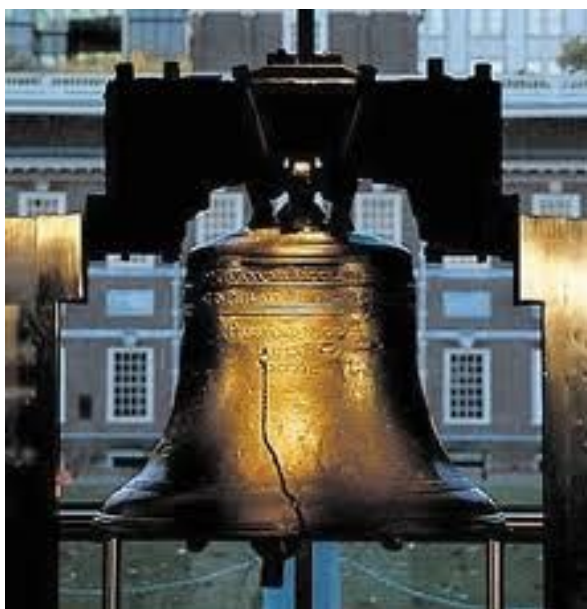


Рис 2. Колокол бедного грешника



Рис 1. Валдайские колокольчики



Рис 2. Колокол в Угличе



Рис 1. Царь-колокол



Рис 2. Колокола на Спасской башне

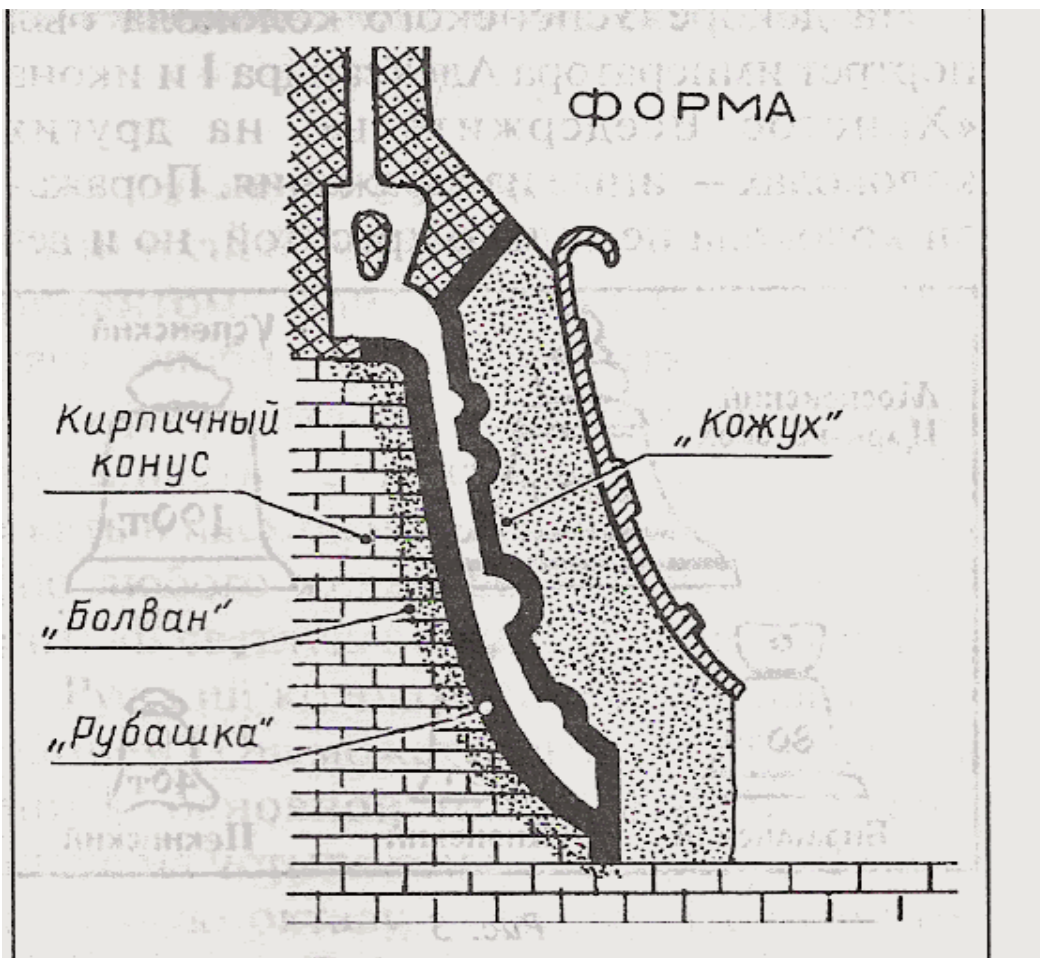




Рис 1. Колокол Сысой



Рис 2. Колокол Полиелейный



Рис 3. Колокола Успенской звонницы



Колокольня Ивана Великого  
г. Москва



Звонница Ростовского Кремля



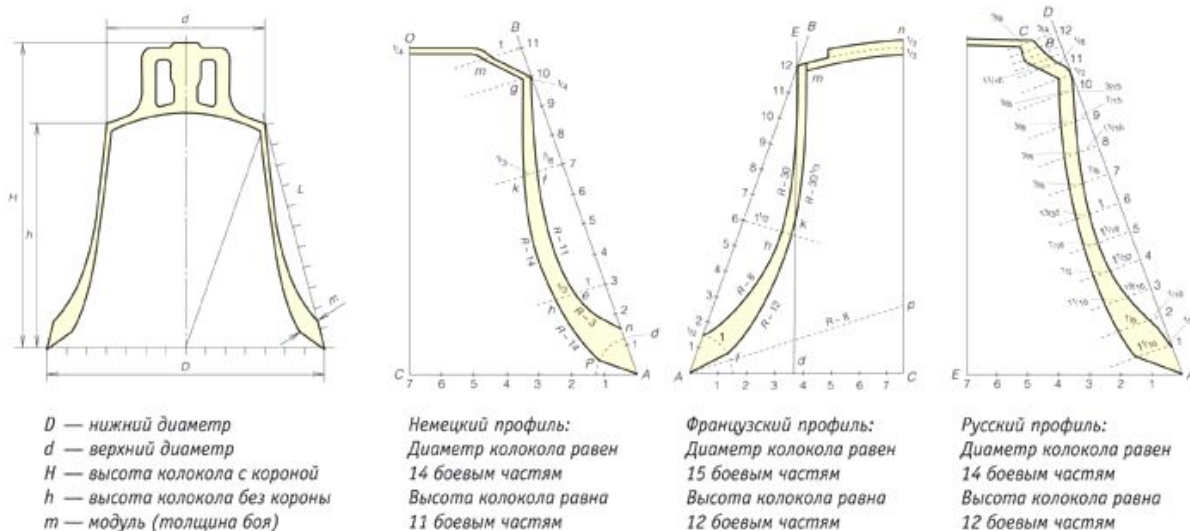


Рис 1.

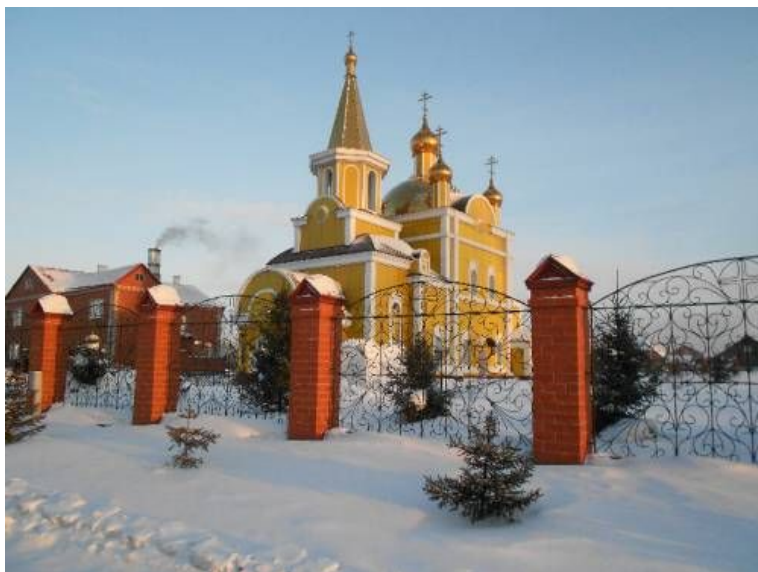


Рис 2.

Электронный звонарь



Храм Николая Чудотворца г. Польшаево



Колокольня храма  
Николая Чудотворца  
г. Польшаево



Колоколахрама  
Николая Чудотворца  
г. Польшаево

Исследование зависимости  $\frac{M}{m} = \frac{D^3}{d^3}$  на колоколах:

1. Успенского собора Ростовского Кремля

Название колоколов	$\frac{M}{m}$	$\frac{D^3}{d^3}$
Лебедь - Голодарь	$\frac{8190}{2803}=2,92$	$\frac{2270^3}{1710^3}=2,34$
Голодарь - Баран	$\frac{2803}{1310}=2,14$	$\frac{1710^3}{1260^3}=2,5$
Баран - Красный	$\frac{1310}{491}=2,67$	$\frac{1260^3}{1075^3}=1,61$
Красный - Козел	$\frac{491}{304}=1,62$	$\frac{1075^3}{760^3}=2,82$
Козел - Ионафановский	$\frac{304}{106}=2,87$	$\frac{760^3}{545^3}=2,71$
Безымянный-1 - Безымянный-2	$\frac{176,6}{141}=1,25$	$\frac{635^3}{630^3}=1,01$
Безымянный-2 - Безымянный-3	$\frac{141}{80,6}=1,75$	$\frac{630^3}{506^3}=1,92$
Зазвонный-1 - Зазвонный-2	$\frac{76,6}{41,85}=1,83$	$\frac{493^3}{410^3}=1,74$
Зазвонный-2 - Зазвонный-3	$\frac{41,85}{24}=1,74$	$\frac{410^3}{343^3}=1,71$

2. Храма Николая Чудотворца г. Полысаево

Название колоколов	$\frac{M}{m}$	$\frac{D^3}{d^3}$
2 – 3	$\frac{24}{16}=1,5$	$\frac{43^3}{28^3}=3,6$
4 -5	$\frac{12}{8}=1,5$	$\frac{25^3}{22^3}=1,5$

