Развитие идей В.Г.Шухова аддитивными технологиями в дизайне и строительстве

Видеоролик о работе: https://youtu.be/EMkQw6pRCU8

**Жигалова Аэлита Игоревна
4 курс МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ), МБОУ «Гимназия №5» города Королёва (мкр. Юбилейный) Московской области, кружок «Юный физик – умелые руки»
aelita99@list.ru**

Научный руководитель Лебедев Владимир Валентинович,
доктор технических наук,
тел. 8-903-184-45-31, 8-925-717-14-37,
личный сайт cfmo.ucoz.ru , E-mail: Lebedev_v_2010@mail.ru

Цель работы: предложить гармоническую архитектурную конструкцию высотной башни

Решаемая задача: математический расчёт параметров секций однополостных гиперболоидов

Архитектурные ограничения: соблюдение «золотого» соотношения в размерах блоков

Новизна: переход от конечного числа прямолинейных образующих однополостного гиперболоида к несчётным множествам

Практическая значимость: уменьшение массы конструкции, снижение стоимости строительного объекта, инновационное внедрение

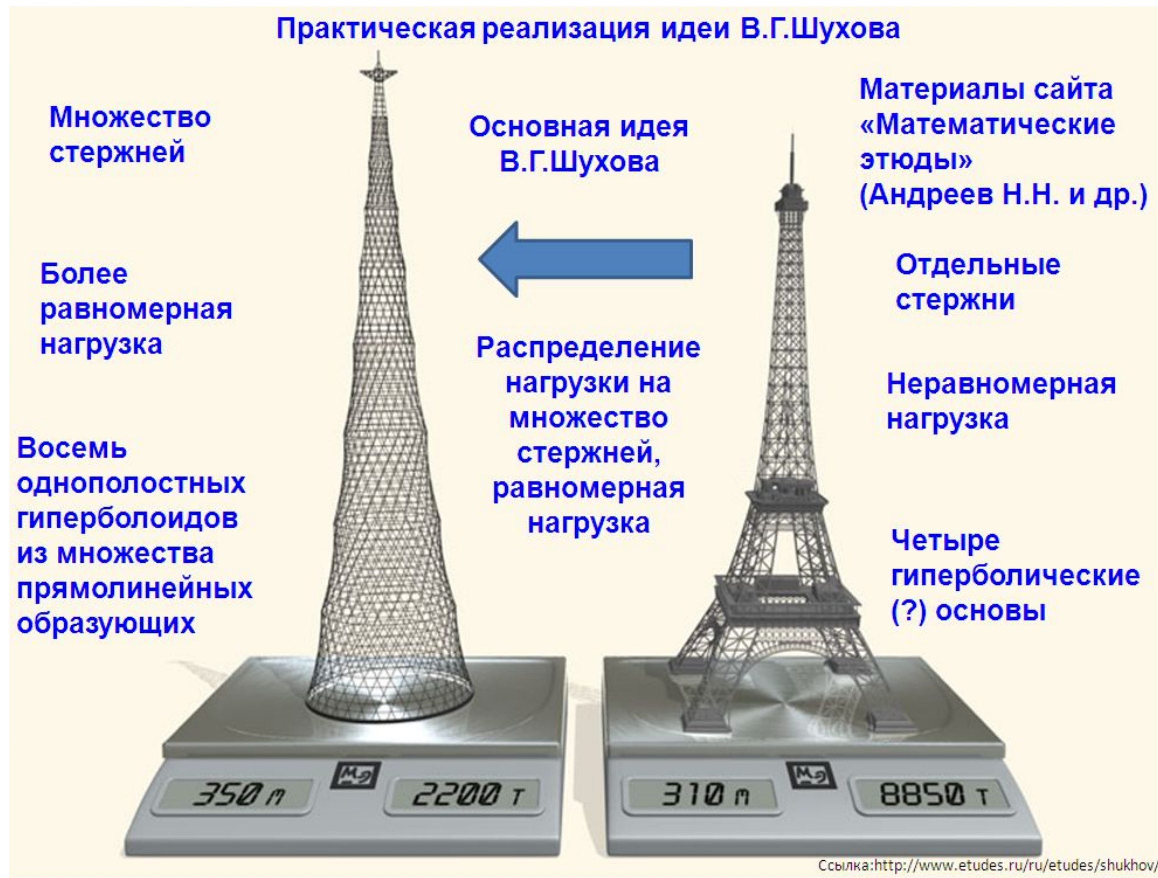
Историческая справка

Владимир Григорьевич Шухов о возникновении идеи

«В конторе А.Бари были приобретены новые корзины для мусора, сплетенные из ивовых прутьев, расположенных наклонно друг к другу и горизонту, образующих криволинейную поверхность. При уборке конторы на одну из корзин, перевернутую вверх дном, поставили находившийся в моем кабинете тяжелый цветочный горшок. Я обратил внимание на форму корзины, ее конструкцию, и очевидную прочность. Встал из-за стола, снял цветочный горшок с корзины, осмотрел ее внимательно и сел на нее. Корзина выдержала вес до 80 кг. Так пришла идея использования конструкций, имеющих форму гиперболоида вращения»

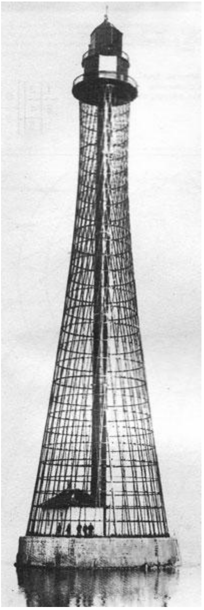
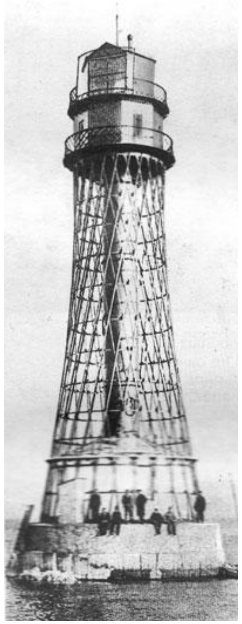
Фотография В. Г. Шухова

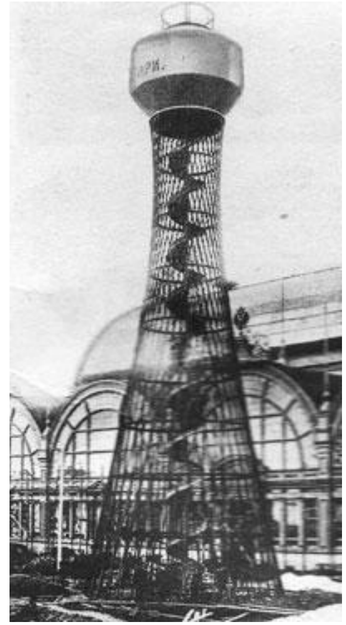
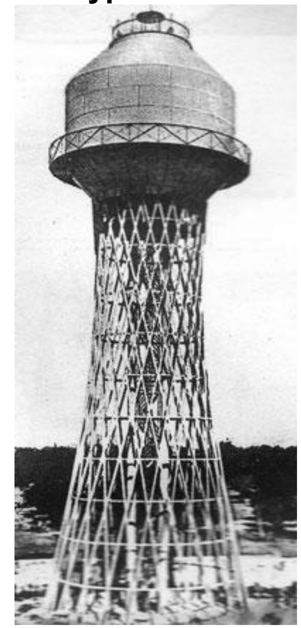
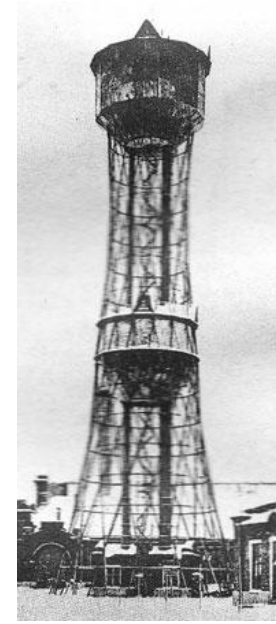
Ссылка:http://www.etudes.ru/ru/etudes/shukhov/



Гиперболические конструкции В.Г.Шухова

Ссылка: Селим Хан-Магомедов . Архитектура советского авангарда

Аджигольский маяк, Херсон, 1911

Водонапорные башни, Москва, 1914

Куплена, Пилибино, Липецкая обл., 140 тонн воды

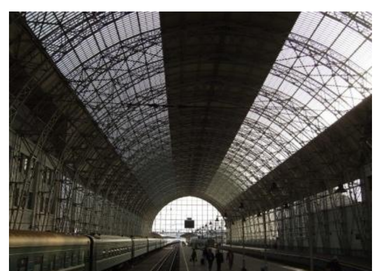
Водонапорная башня, город Николаев, 1896

Станиславский маяк, Херсон, 1911

Водонапорная башня, Нижний Новгород, 1896

Водонапорная башня, Ярославль, 1911

Другие конструкции В.Г.Шухова



Перекрытия ГУМа и Киевского вокзала в Москве

Опоры ЛЭП, Дзержинск, 1929

Предлагаю 4 гармонических правила для проектирования оболочки в виде поверхности однополостного гиперболоида

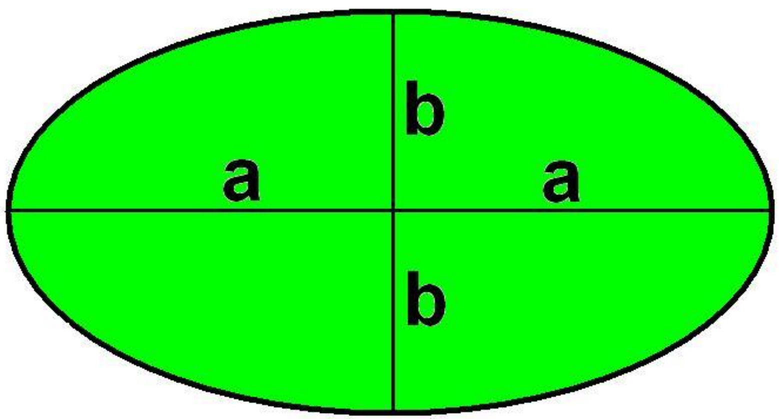
!

В.Г.Шухов, несомненно, знал о них, но не мог применить:

1) не было технологии оболочек (3D-моделирования);
2) не было высотных подъёмно-транспортных машин;
3) ограничение «горлышка» полиспастами В.Г.Шухова;
4) железобетон только начал внедряться в конструкции;
5) в России не хватало металла, шла гражданская война.

Первое гармоническое правило (независимое)

Отношение полуосей эллипса в любом сечении башни должно быть равно «золотому» сечению:
a/b = M



Большая ось
2a

Большая полуось
a

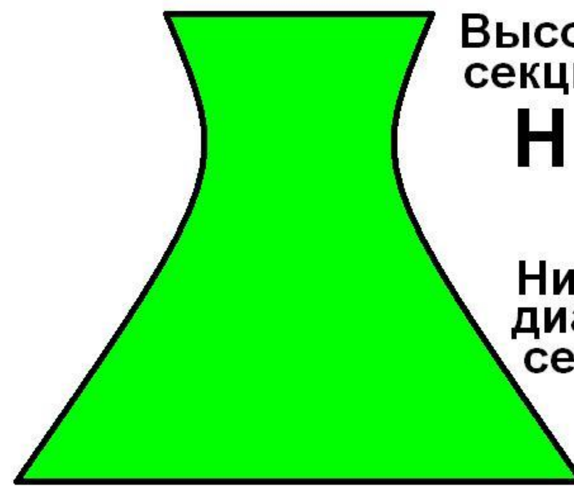
Малая ось **2b**

Малая полуось **b**

$$\frac{2a}{2b} = \frac{a}{b} \approx 1{,}618$$

Второе гармоническое правило

Отношение высоты секции к диаметру её нижнего основания должно быть равно «золотому» сечению:
H/Dн = M



Высота секции
H

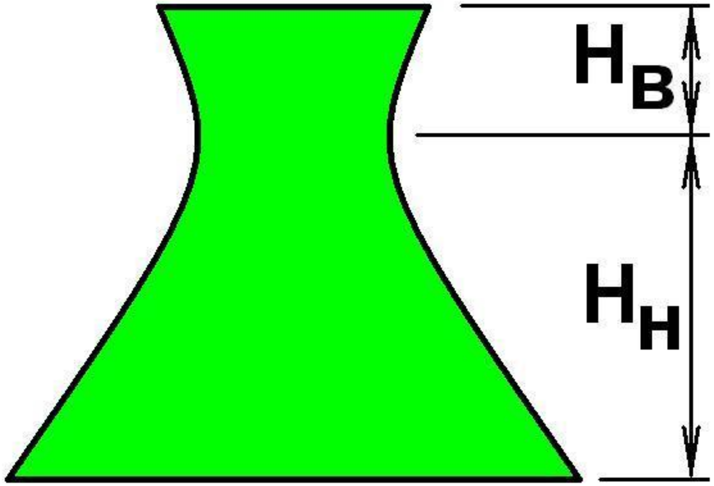
Нижний диаметр секции
D_H

$$\frac{H}{D_H} = M \approx 1{,}618$$

Третье гармоническое правило

Отношение высоты секции от нижнего основания до «горлышка» к высоте от «горлышка» до верхнего основания должно быть равно «золотому» сечению:

Нн/Нв = М



$$\frac{H_H}{H_B} = M \approx 1{,}618$$

Четвёртое гармоническое правило

Отношение диаметра нижнего основания секции к диаметру её верхнего основания должно быть равно «золотому» сечению:

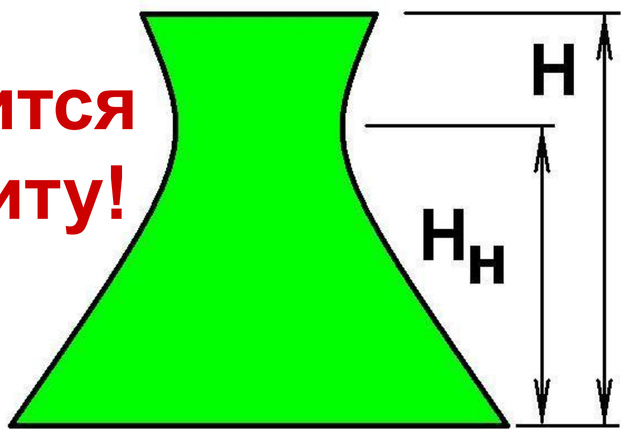
Dн/Dв = М

$$\frac{D_H}{D_B} = M \approx 1{,}618$$

Пятое гармоническое правило – следствие, выполняется автоматически

При выполнении правил 2,3,4 отношение общей высоты секции к высоте от нижнего основания до «горлышка» равно «золотому» сечению:

$H/H_н = M$



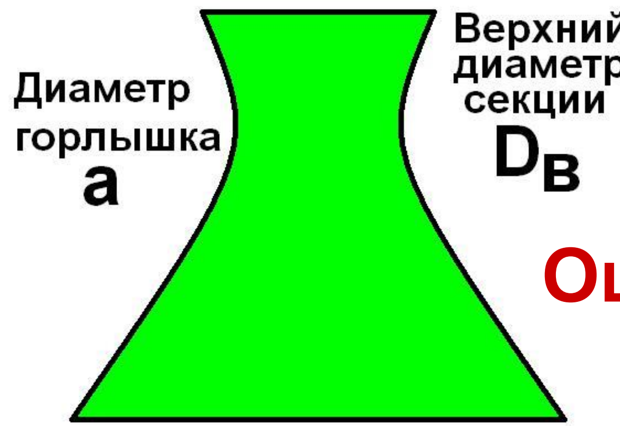
Выносится на защиту!

$$\frac{H}{H_н} = M \approx 1{,}618$$

Шестое гармоническое правило – выполняется приближённо

При выполнении правил 2,3,4 отношение диаметра верхнего основания секции к диаметру её горлышка равно:

$D_в/a \sim 1{,}414$

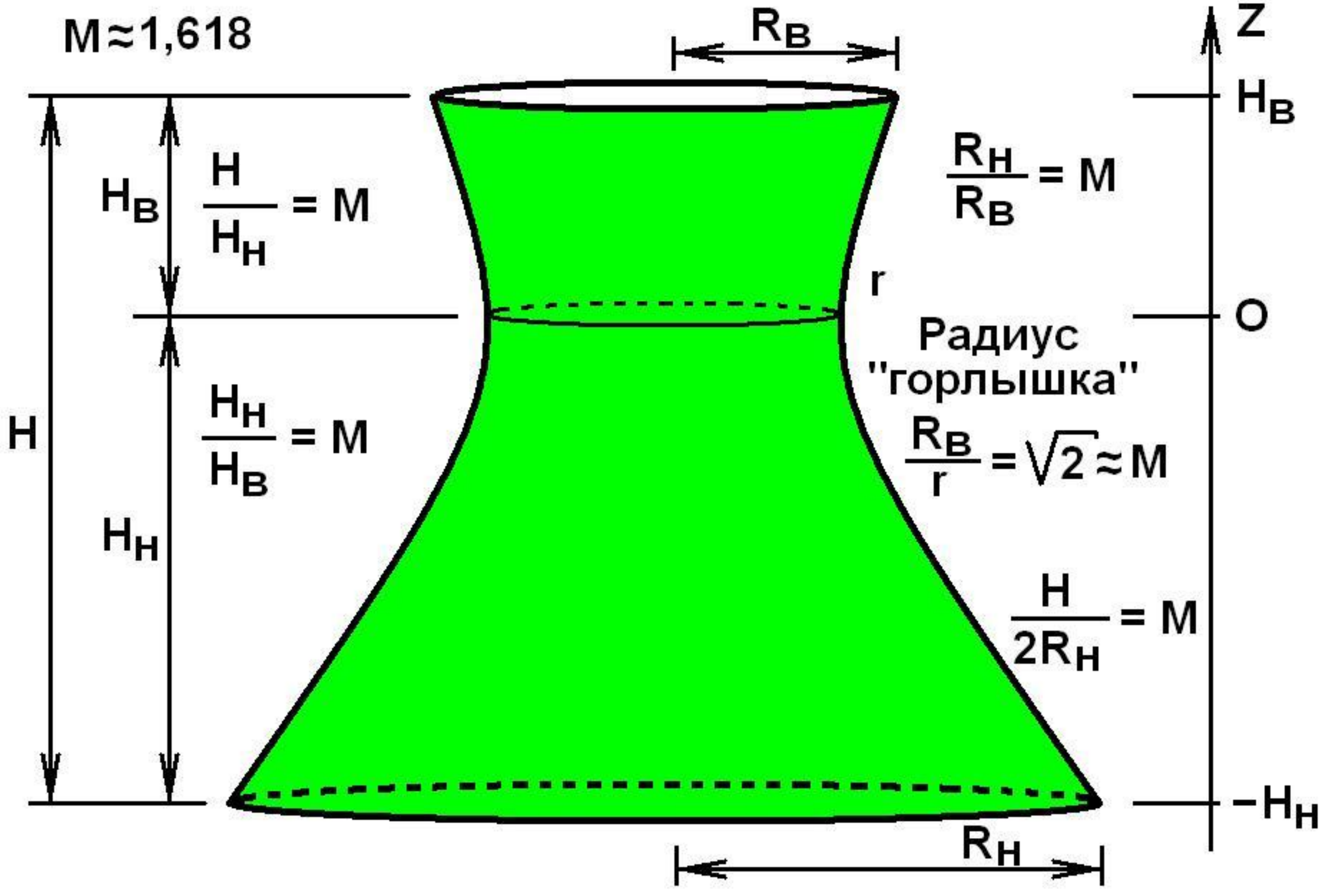


Ошибка 13%

$$\frac{D_в}{a} = \sqrt{2} \approx 1{,}414$$

Не «золотое» сечение!

Развитие идеи В.Г.Шухова до оболочки (несчётное множество стержней)



Математическая суть работы

Уравнение однополостного гиперболоида

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=1$$

"Золотое" отношение

$$\frac{a}{b}=M\approx 1,618$$

$$H = H_H + H_B \qquad \frac{H_H}{H_B}=M$$

$$MH_H = H_H + H_B \qquad M^2H_B = MH_B + H_B$$

$$H = H_H + H_B = MH_B + H_B = H_B(M+1)$$

$$H_B=\frac{H}{M+1} \qquad H_H=\frac{MH}{M+1}$$

6 переменных и два уравнения

$$6-2=4$$

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=1$$

y=0

$$x^2=a^2\left(1+\frac{z^2}{c^2}\right)$$

Существует 4 степени свободы, можно проектировать 4 отношения

$$\begin{cases} R_H^2=a^2\left(1+\dfrac{H_H^2}{c^2}\right); \\ R_B^2=a^2\left(1+\dfrac{H_B^2}{c^2}\right). \end{cases} \qquad M^2=\frac{c^2+H_H^2}{c^2+H_B^2}$$

$$c^2=\frac{H_H^2-H_B^2}{M}=\frac{M^2H_B^2-H_B^2}{M}=\frac{(M^2-1)H_B^2}{M}$$

$$M^2-1=M$$

$$c=H_B$$

$$R_B=a\sqrt{2}$$

Пример расчёта одной секции

$R_H = 100$ мм

$R_B=\frac{R_H}{M}=61{,}8$ мм

$a=\frac{R_B}{\sqrt{2}}=43{,}7$ мм

$b=\frac{a}{M}=27{,}0$ мм

$H = M\cdot 2R_H = 323{,}6$ мм

$H_B=\frac{H}{M+1}=123{,}6$ мм

$H_H = MH_B = 200$ мм

$\frac{x^2}{43{,}7^2}+\frac{y^2}{27{,}0^2}-\frac{z^2}{123{,}6^2}=1$

$z\in[-200{,}0\ ;\ 123{,}6]$

Гармоническая математика «золотого» сечения в современной архитектурной оболочке В.Г.Шухова

Техническое задание для 3D-моделирования

Нулевая секция: $\dfrac{x^2}{70{,}7^2}+\dfrac{y^2}{43{,}7^2}-\dfrac{z^2}{200{,}0^2}=1$, где $z\in[-323{,}6\ ;\ 200{,}0]$.

Первая секция: $\dfrac{x^2}{43{,}7^2}+\dfrac{y^2}{27{,}0^2}-\dfrac{z^2}{123{,}6^2}=1$, где $z\in[-200{,}0\ ;\ 123{,}6]$.

Вторая секция: $\dfrac{x^2}{27{,}0^2}+\dfrac{y^2}{16{,}7^2}-\dfrac{z^2}{76{,}4^2}=1$, где $z\in[-123{,}6\ ;\ 76{,}4]$.

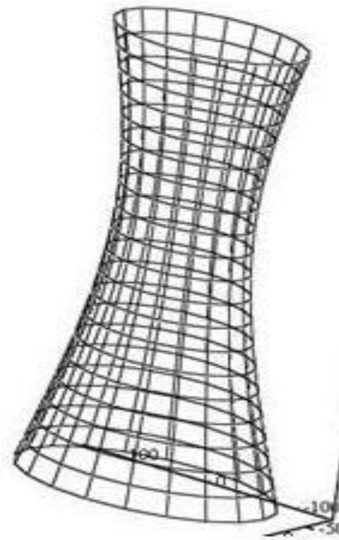
Третья секция: $\dfrac{x^2}{16{,}7^2}+\dfrac{y^2}{10{,}3^2}-\dfrac{z^2}{47{,}2^2}=1$, где $z\in[-76{,}4\ ;\ 47{,}2]$.

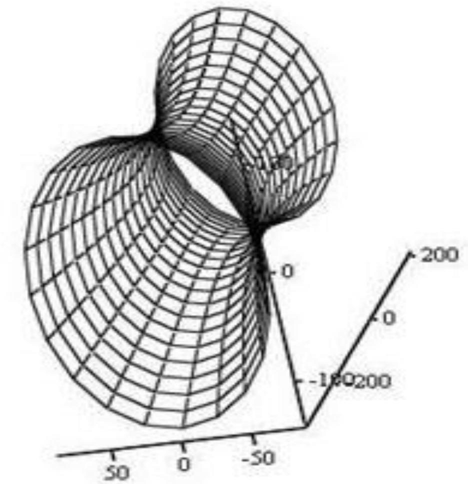
Четвёртая секция: $\dfrac{x^2}{10{,}3^2}+\dfrac{y^2}{6{,}4^2}-\dfrac{z^2}{29{,}2^2}=1$, где $z\in[-47{,}2\ ;\ 29{,}2]$.

Пятая секция: $\dfrac{x^2}{6{,}4^2}+\dfrac{y^2}{4{,}0^2}-\dfrac{z^2}{18{,}0^2}=1$, где $z\in[-29{,}2\ ;\ 18{,}0]$.

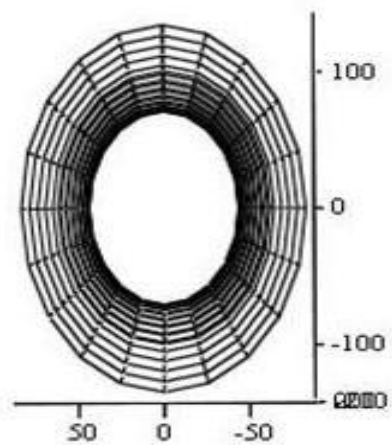
Математическое моделирование с помощью программы MathCAD-13

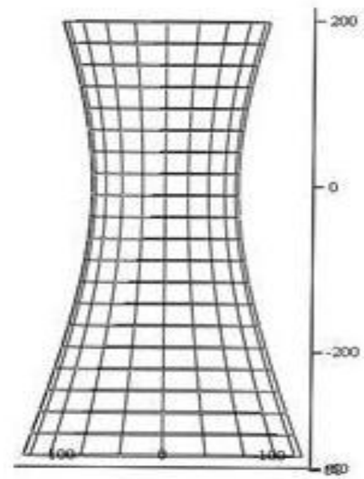
Mathcad 14 Rus.exe
Mathcad Application
Parametric Technology Corpor...





Пропорции одинаковые для всех секций





Примеры: первая и последняя секции

$M := 1.618 \qquad a1 := 70.7 \qquad b1 := \frac{a1}{M} \qquad c1 := 200.0$

$$F1(u,v) := a1\cdot\sqrt{1+\frac{u^2}{c1^2}}\cdot\cos(v) \qquad F2(u,v) := b1\cdot\sqrt{1+\frac{u^2}{c1^2}}\cdot\sin(v) \qquad F3(u,v) := u$$

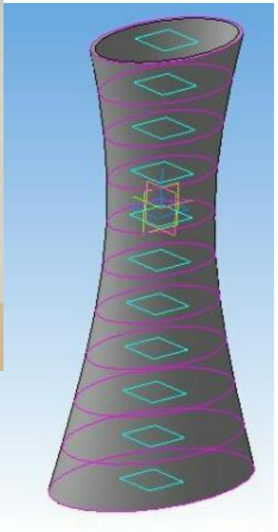
Нулевая секция

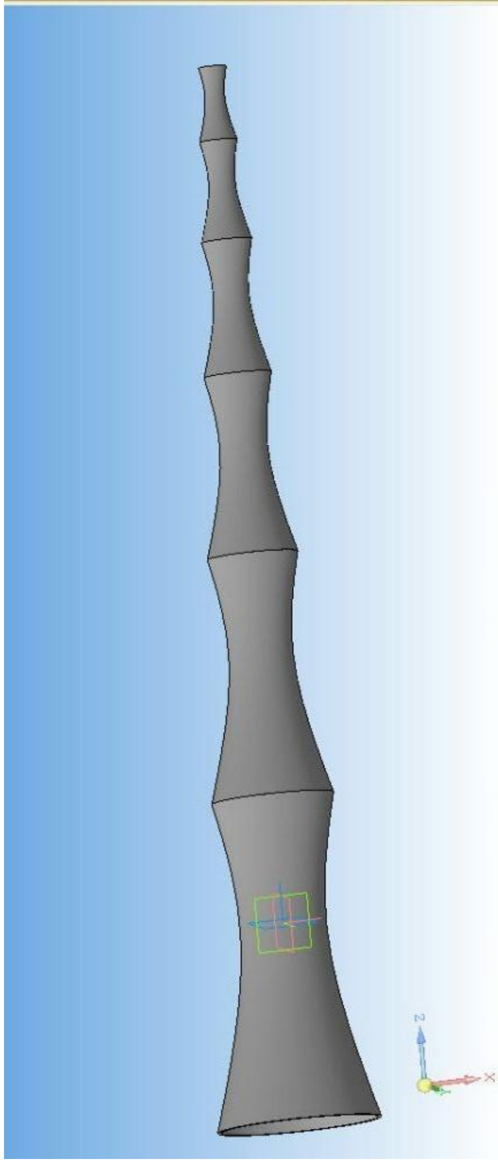
Пятая секция

$M := 1.618 \qquad a1 := 6.4 \qquad b1 := \frac{a1}{M} \qquad c1 := 18.0$

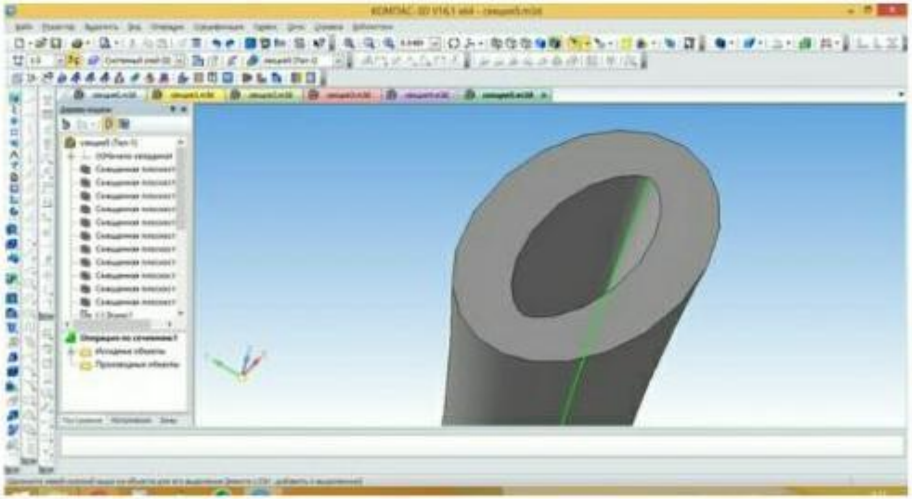
$$F1(u,v) := a1\cdot\sqrt{1+\frac{u^2}{c1^2}}\cdot\cos(v) \qquad F2(u,v) := b1\cdot\sqrt{1+\frac{u^2}{c1^2}}\cdot\sin(v) \qquad F3(u,v) := u$$

Результаты 3D-моделирования и сертификаты качества



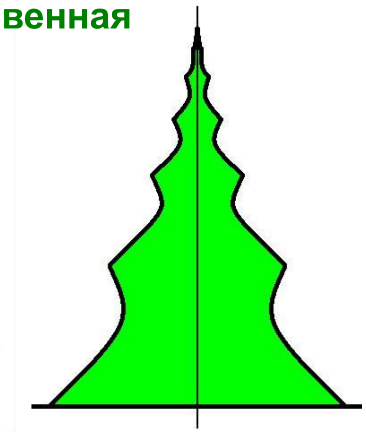


Исправление ошибки



Гармоническая математика привела к природной архитектуре

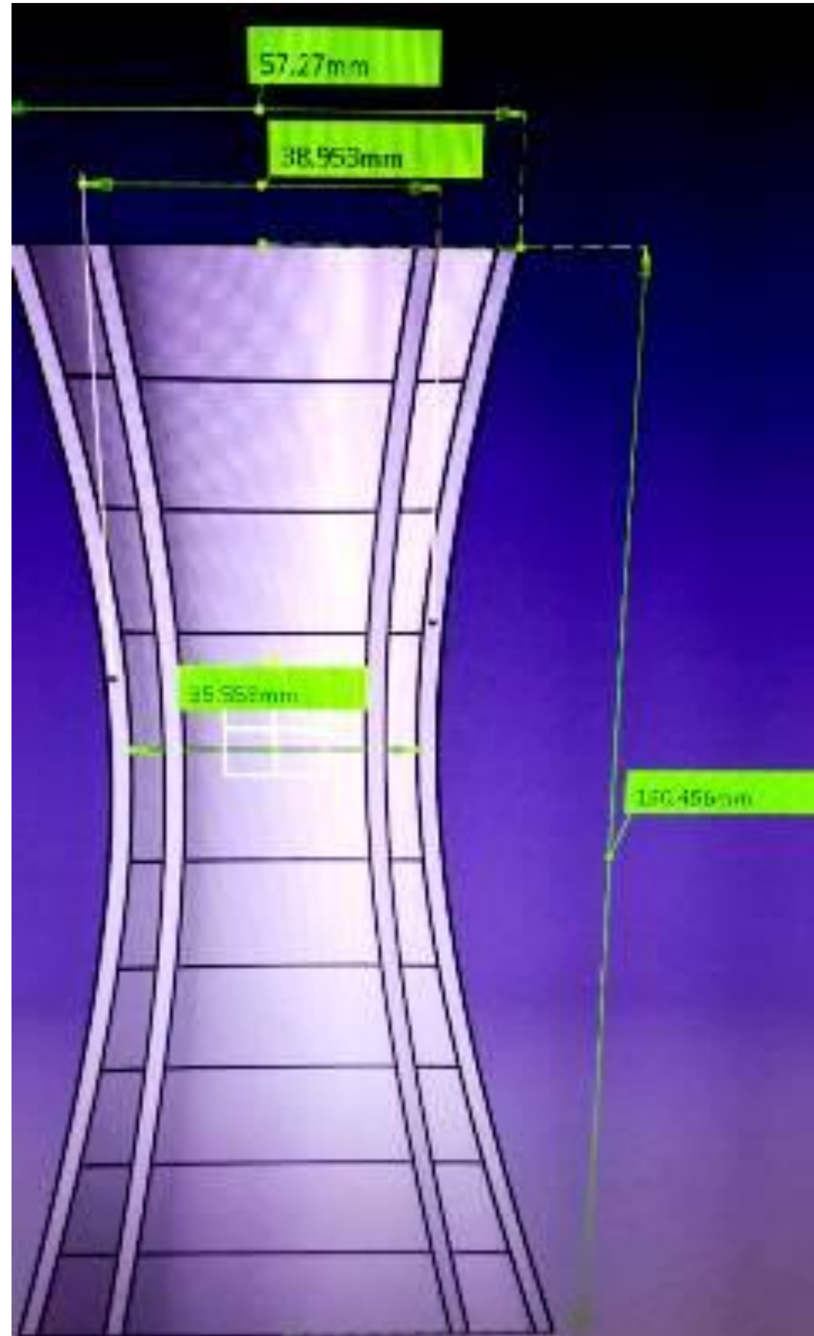
Ель обыкновенная



Развитие технологического направления – неразбирающиеся конструкции

Опалубка – это не силовая оболочка

Внутренняя деталь опалубки не вынимается из внешней



Ссылка на картинку: Продлить жизнь ёлки. | Полезные советыnekoy.ru

Примеры сборочных единиц, которые нельзя собрать обычным способом

Такие конструкции можно изготовить только аддитивными технологиями

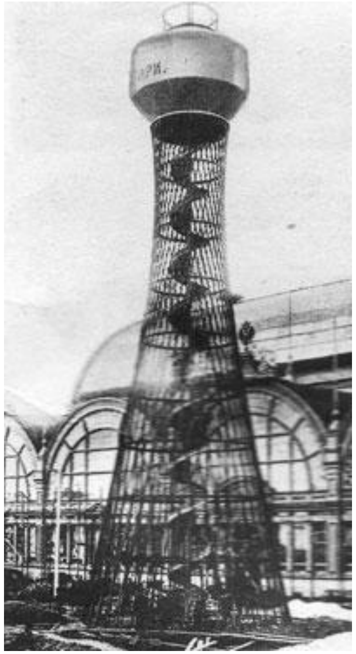
Внутреннюю и внешнюю опалубки можно не удалять после заливки наполнителя







Процесс изготовления модели опалубки: математика, 3D печать, армирование, наполнитель – эпоксидная смола



На защиту выносится развитие идеи Владимира Григорьевича Шухова: оболочка, технология, экология, дизайн

Выводы

Предложены четыре основных математических правила архитектурного проектирования высотных башен на основе однополостного гиперболоида

Доказано автоматическое соблюдение пятого правила «золотого» сечения

Доказано приближённое соблюдение шестого правила «золотого» сечения

Изготовлена модель высотной башни и неразбирающейся сложной опалубки