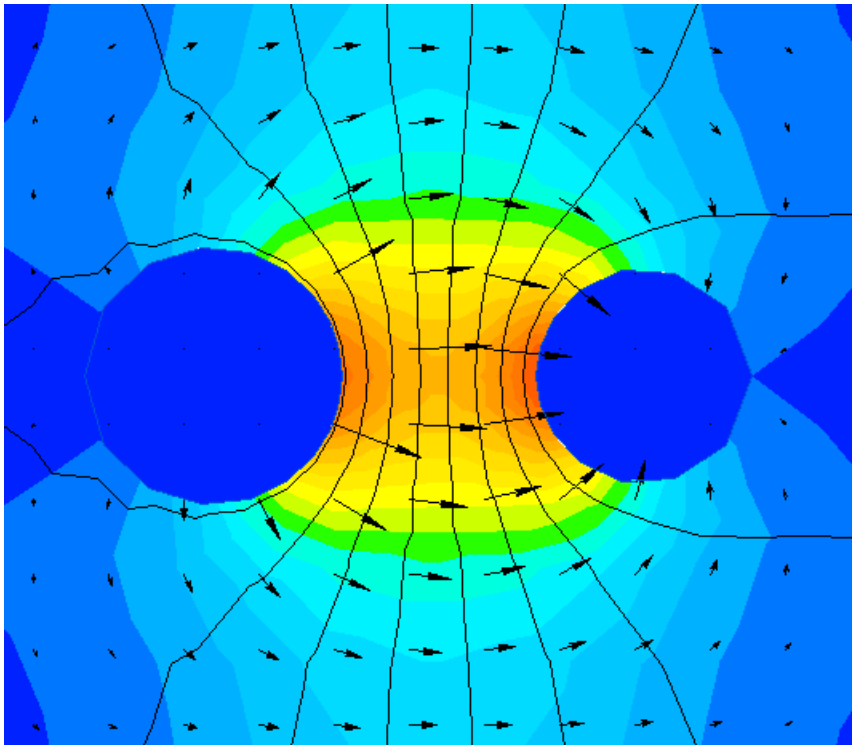
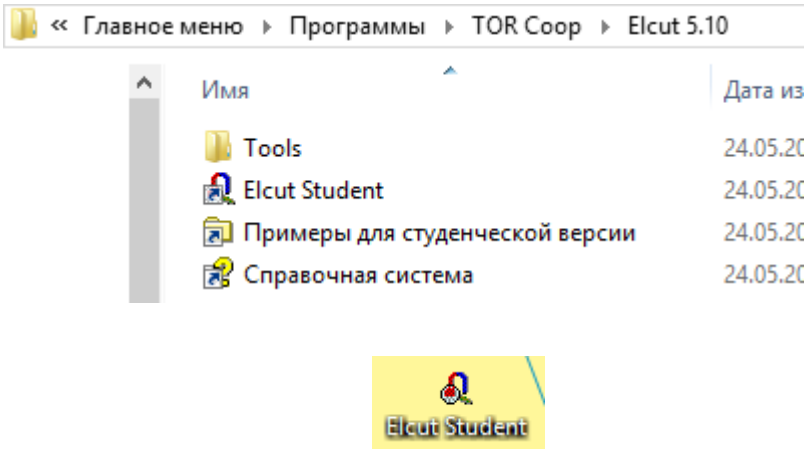
Моделирование электростатического поля двух параллельных несоосных заряженных цилиндров

Вариант А

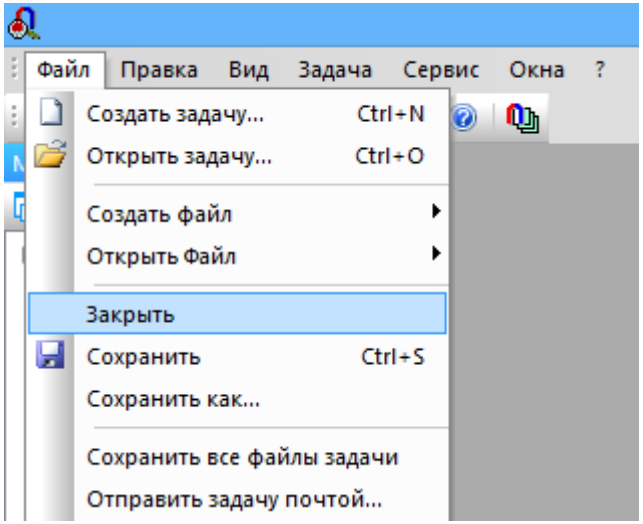


© 2014, Alexey V. Voronin @ *belsut.foxylab.com*

Запускаем студенческую версию пакета *ELCUT*, щелкнув по пункту **Elcut Student** в меню *Пуск* или иконке программы на рабочем столе.



Закрываем открытую по умолчанию демонстрационную задачу (если она открыта) - выбираем в пункте главного меню **Файл** команду **Закрыть.**



Моделирование электростатического поля двух заряженных цилиндров в пакете *ELCUT* состоит из следующих этапов:

1. Создание геометрической модели системы цилиндров
2. Задание физических свойств элементов модели
3. Построение расчетной сетки и расчет модели
4. Анализ результатов моделирования.

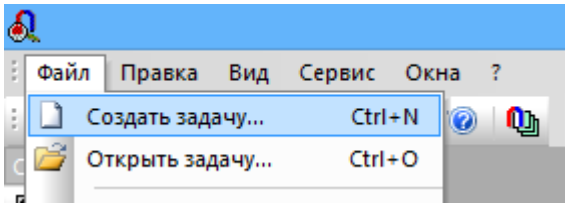
Исходные данные и результаты предварительного расчета.

В рассматриваемом примере заданы:

R_1 = 12 см, R_2 = 10 см, D = 40,1 см , ℓ = 8 м, ε_r = 2.

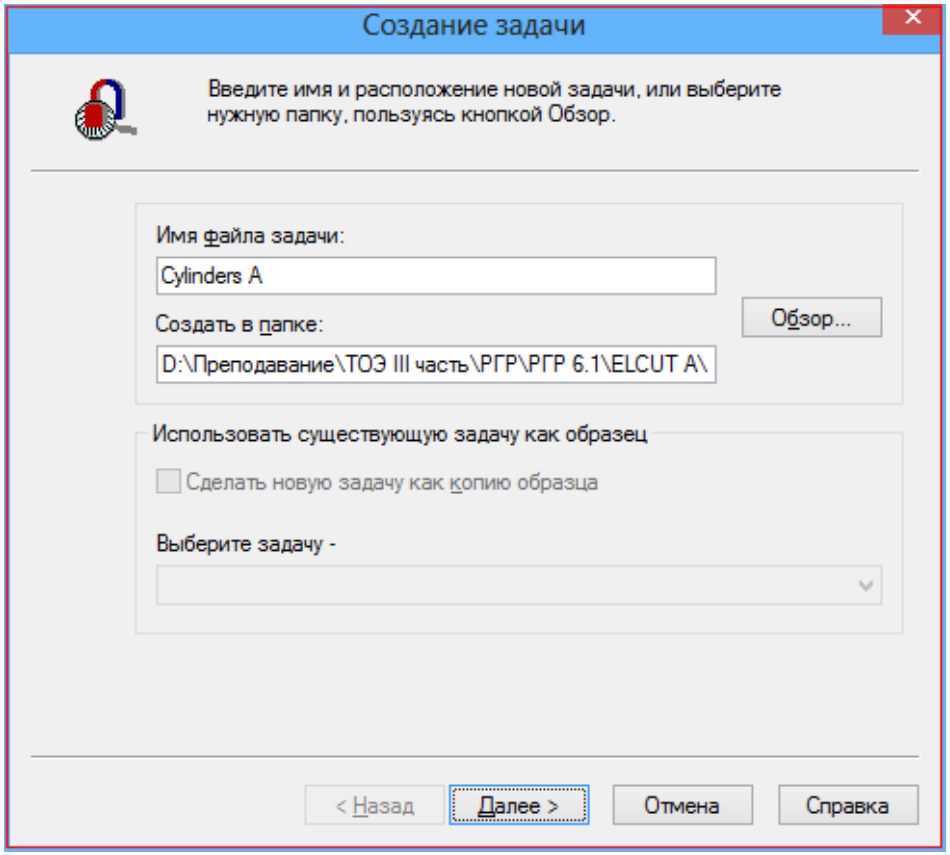
Предварительно рассчитаны: h_1 = 20,6 см, h_2 = 19,5 см, φ_1 = 5091 В, φ_2 = - 5775 В, U = 10866 В.

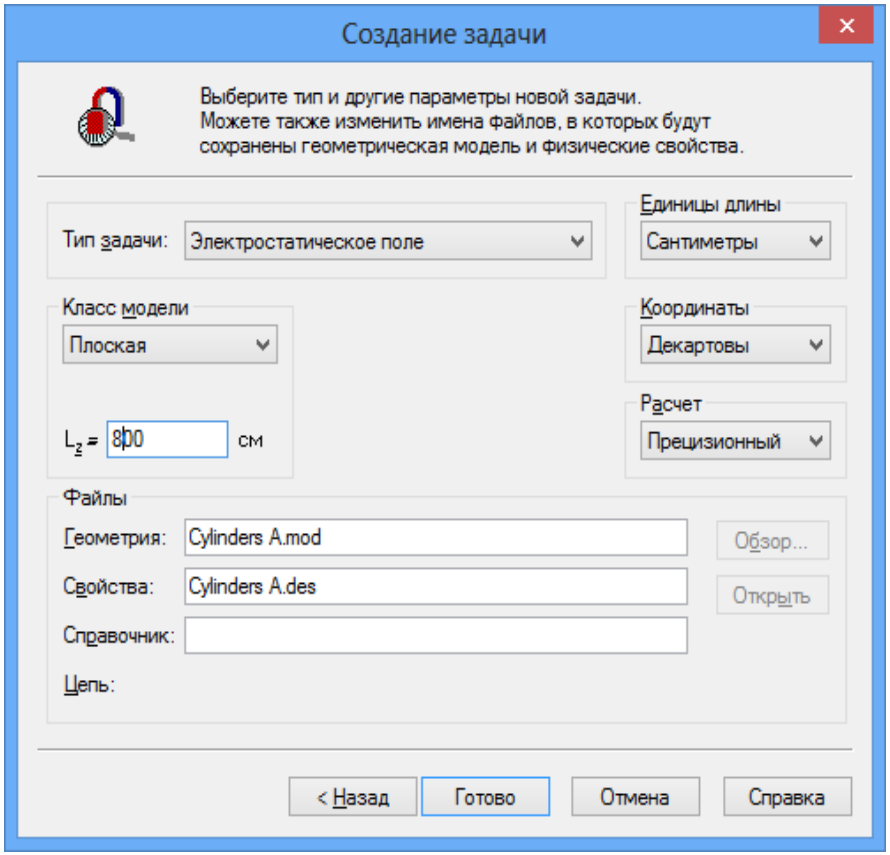
Создаём новую задачу: выбираем в пункте главного меню **Файл** команду **Создать задачу**.

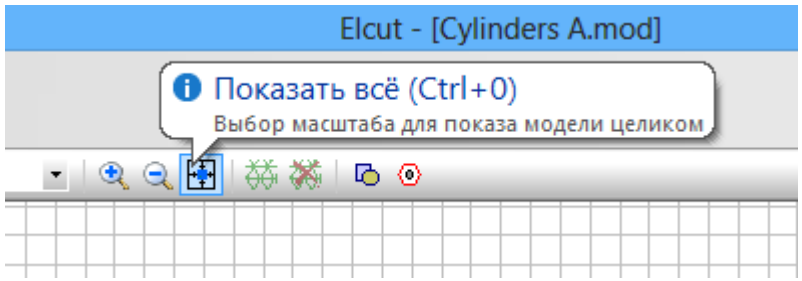


Выбираем *Тип задачи* **Электростатическое поле**, меняем *Единицы длины* на **Сантиметры**, а *Расчет* на **Прецизионный**. Длина модели по оси z L_z указывается равной длине цилиндров (в примере **800** см (ℓ), берется из исходных данных). Затем нажимаем кнопку **Готово**.

Вводим *Имя файла задачи* (в примере **Cylinders A**) и указываем папку для хранения файлов задачи (*Создать в папке*), нажимаем кнопку **Далее**.

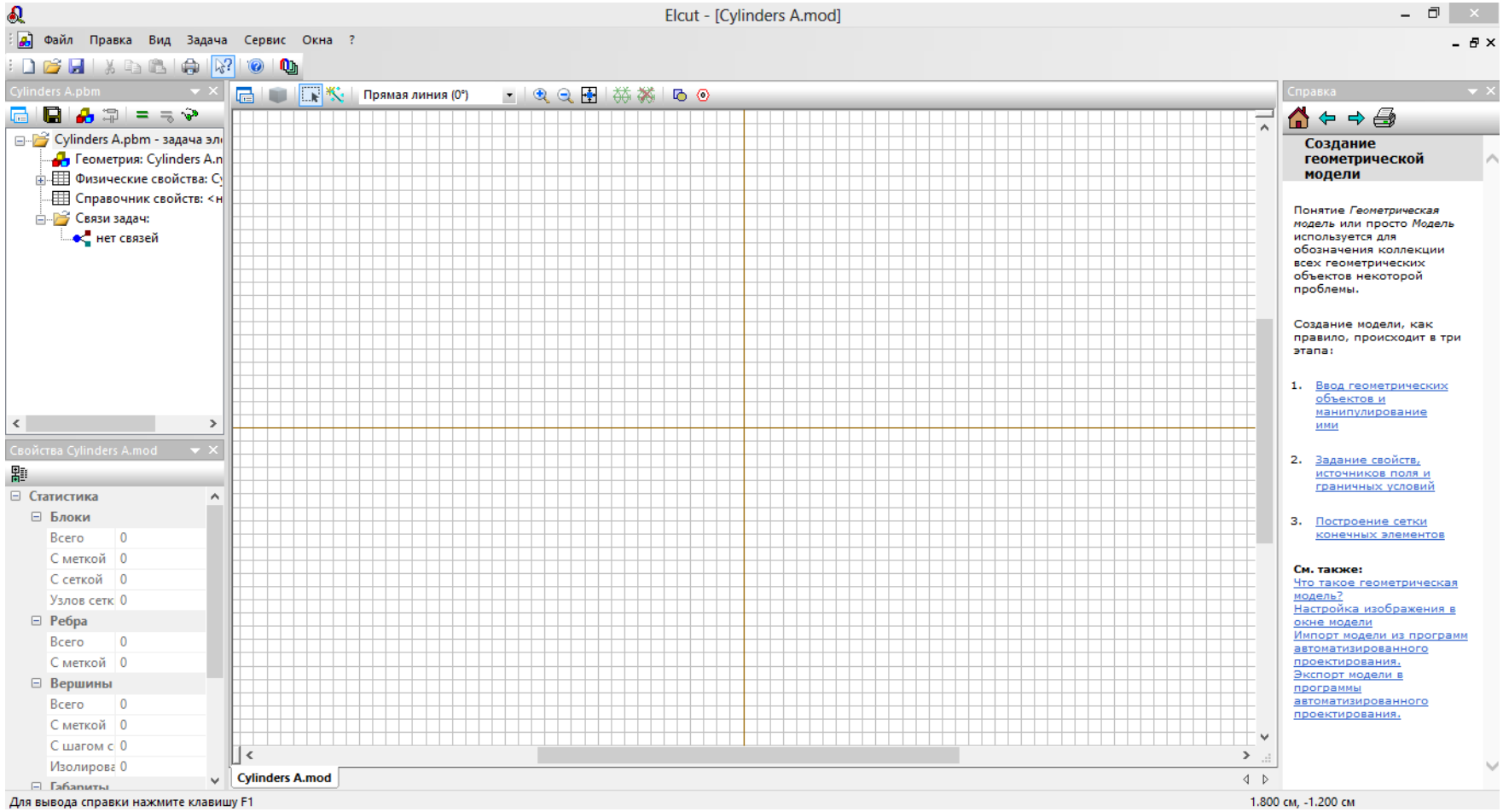




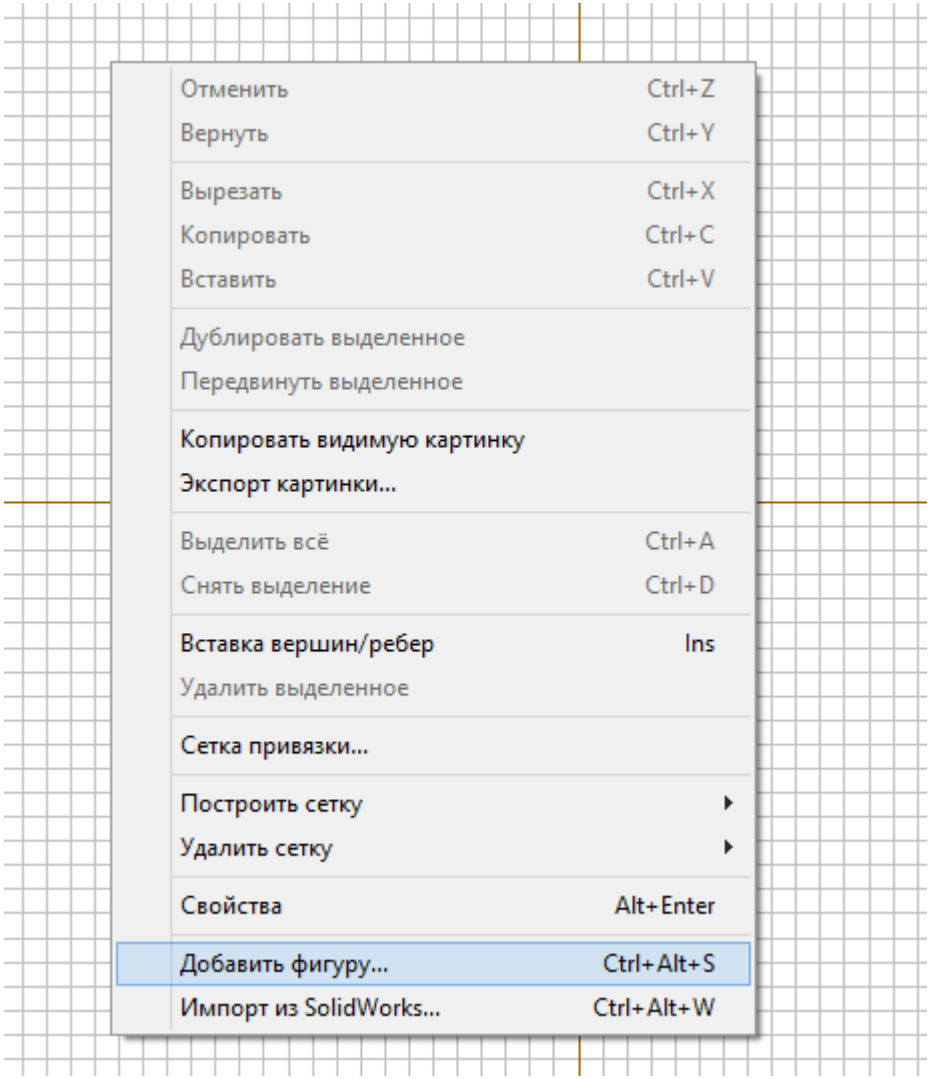


Нажимаем на кнопку **Показать** Всё на панели инструментов.

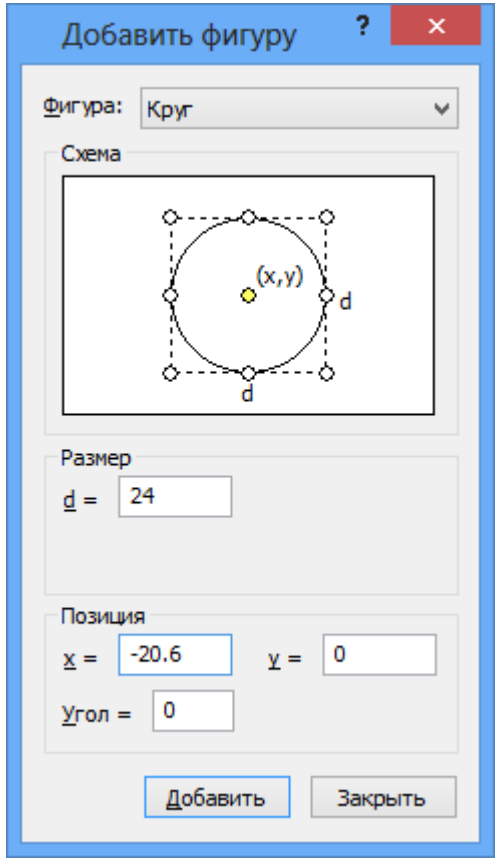
На экране отображается рабочая область для создания модели:



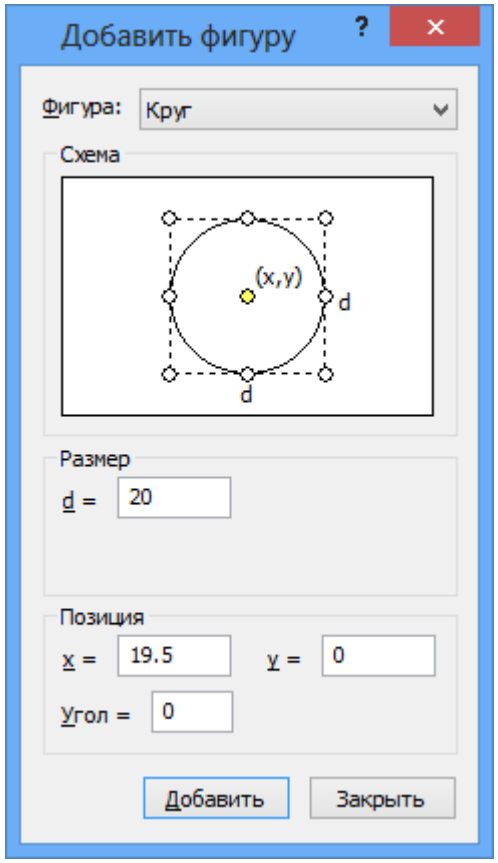
Щелкаем правой кнопкой мышки в рабочей области, выбираем команду **Добавить фигуру** в появившемся контекстном меню.



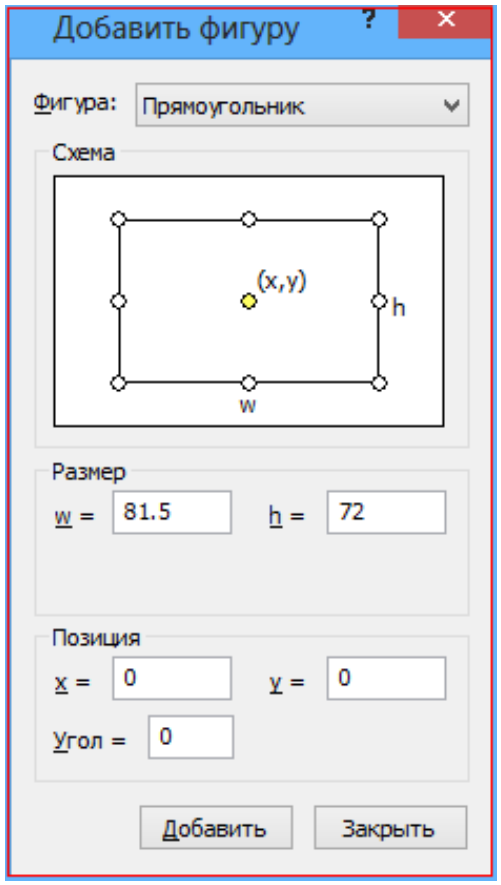
Выбираем *Фигура* **Круг**, указываем диаметр первого цилиндра (расположенного слева) d = **24** см (удвоенный радиус цилиндра R_1, взятый из исходных данных задачи) и координаты его центра x = **-20.6** см ($-h_1$ из предварительного расчета), y = **0** см. Нажимаем кнопку **Добавить**.



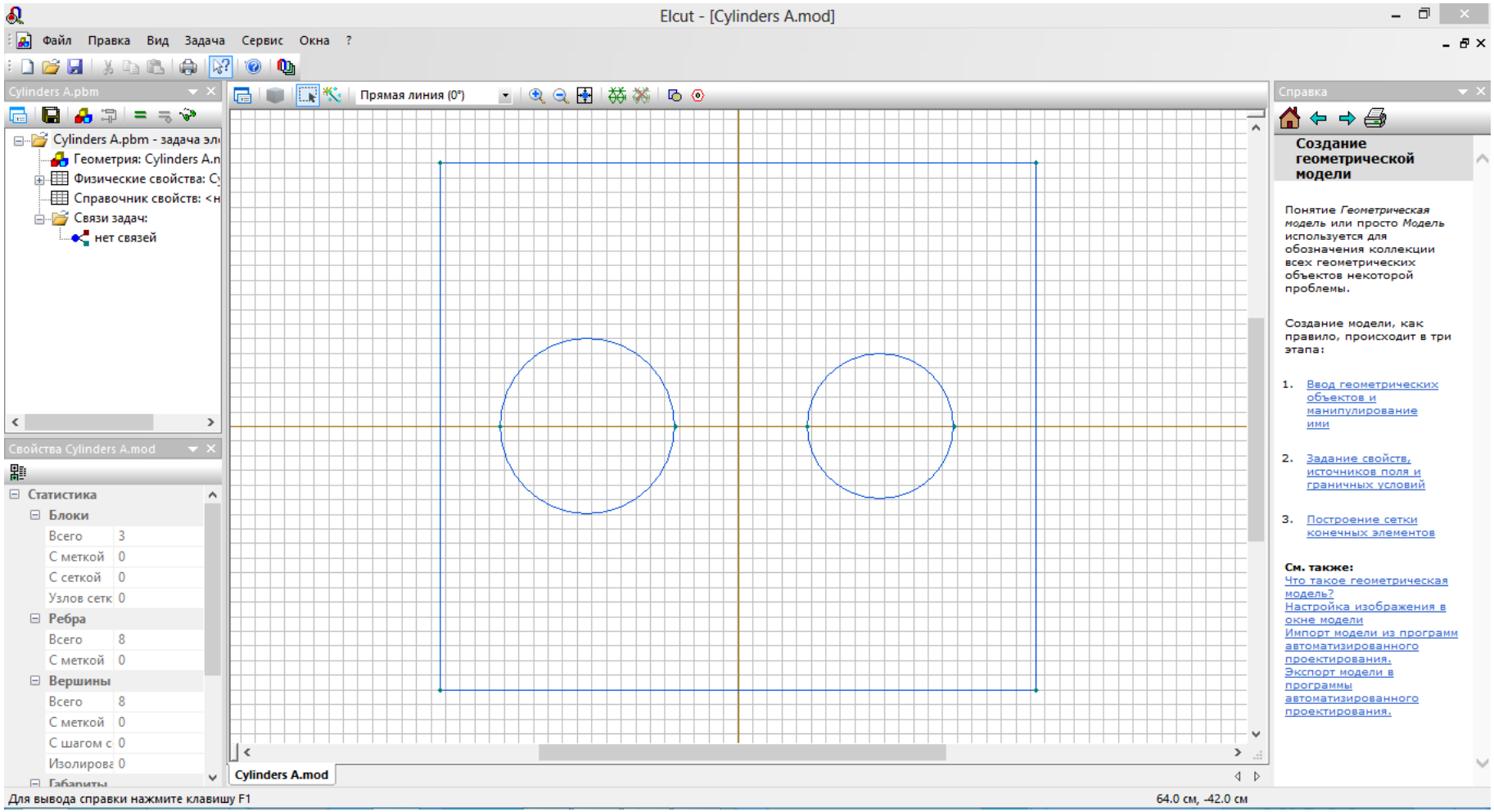
После добавления первого цилиндра не закрываем окно *Добавить фигуру*, а добавляем второй цилиндр (расположенный справа), указывая диаметр *d* = **20** см (удвоенный радиус R_2) и координаты центра *x* = **19.5** см (h_2 из предварительного расчета), *y* = **0** см и нажимая кнопку **Добавить**.



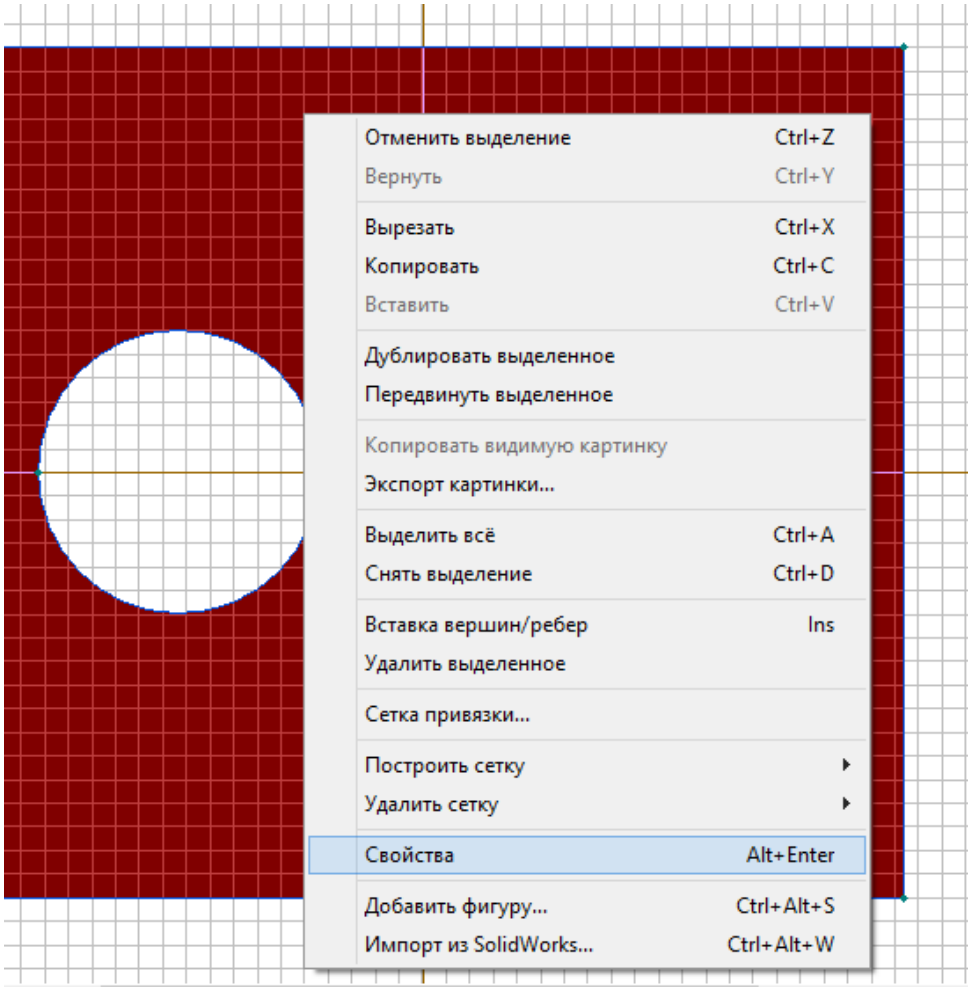
Затем задаем размеры области моделирования:
указываем *Фигура* **Прямоугольник** и размеры – *ширина*, равная $2{,}5 \cdot (R_{max} + h_{max})$, где R_{max} - радиус большего цилиндра, а h_{max} - расстояние от центра этого цилиндра до линии нулевого потенциала (в данном случае $2{,}5 \cdot (12 + 20{,}6) = 81{,}5$),
w = **81.5** см**,**
высота, равная утроенному диаметру большего цилиндра $6 \cdot R_{max}$ (в данном случае $6 \cdot 12 = 72$),
h = **72** см**,**
а потом нажимаем кнопку **Добавить,** а затем кнопку **Закрыть**.



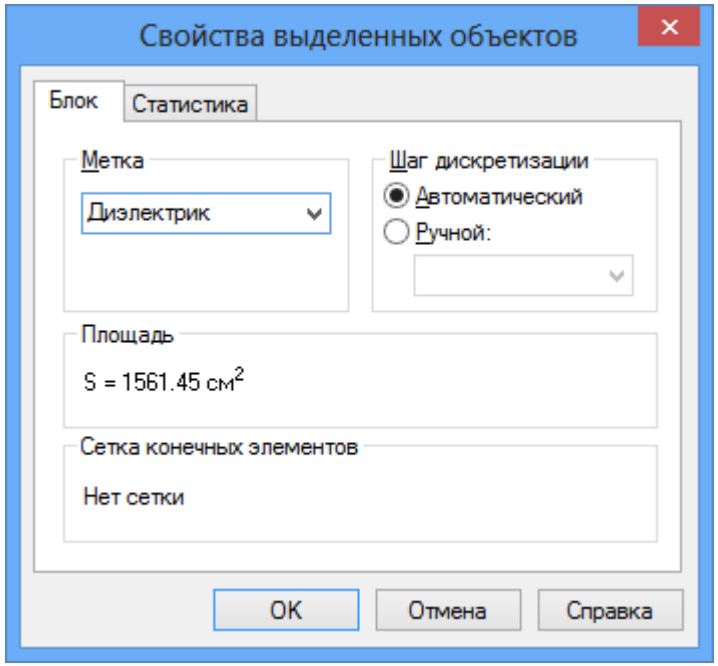
Нажимаем на кнопку **Показать Всё** на панели инструментов. На экране отображается рабочая область с геометрическими моделями цилиндров.



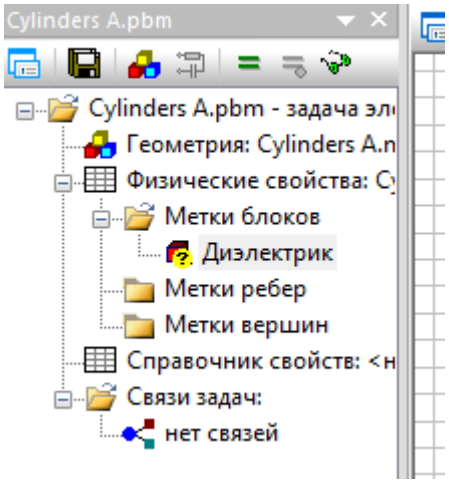
Правой кнопкой мышки щелкаем по диэлектрику между цилиндрами (при этом он выделяется красным цветом), выбираем команду **Свойства** в появившемся контекстном меню.



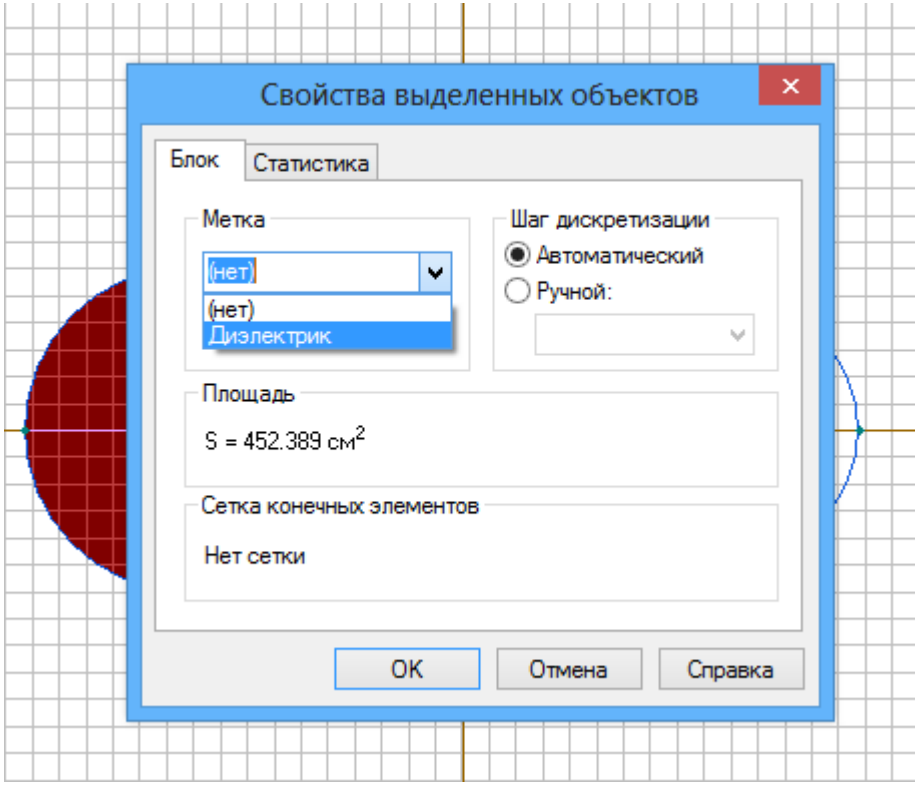
Задаем *Метка* - **Диэлектрик**, нажимаем кнопку **ОК**.



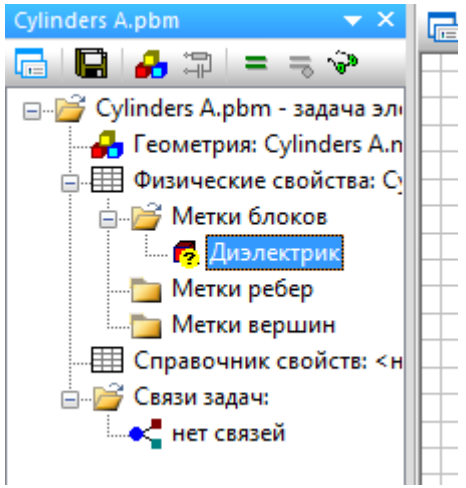
Слева в списке *Метки блоков* появляется **Диэлектрик** со знаком вопроса, так как мы не задали его физические свойства.

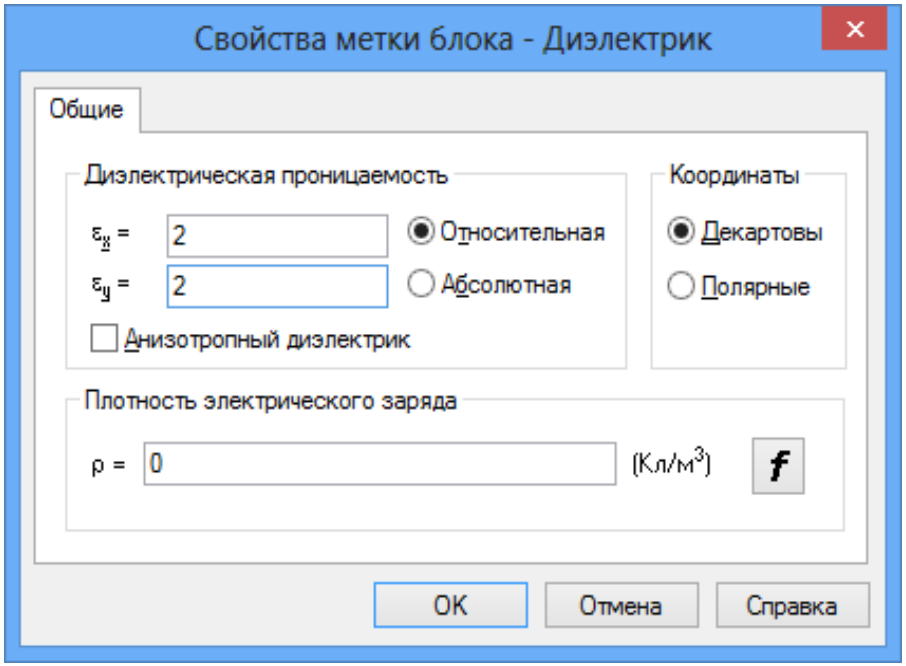


Делаем двойной щелчок мышкой внутри первого цилиндра и внутри второго цилиндра (они при этом выделяются красным цветом) и выбираем оба раза из списка *Метка* - **Диэлектрик** и нажимаем кнопку **ОК.**

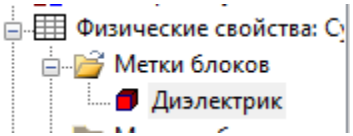


В списке *Метки блоков* делаем двойной щелчок мышкой по **Диэлектрик** и задаем относительная **Диэлектрическая проницаемость** ε_x = **2** и ε_y = **2** (оба значения одинаковы и берутся из исходных данных задачи (ε_r). Нажимаем кнопку **ОК.**

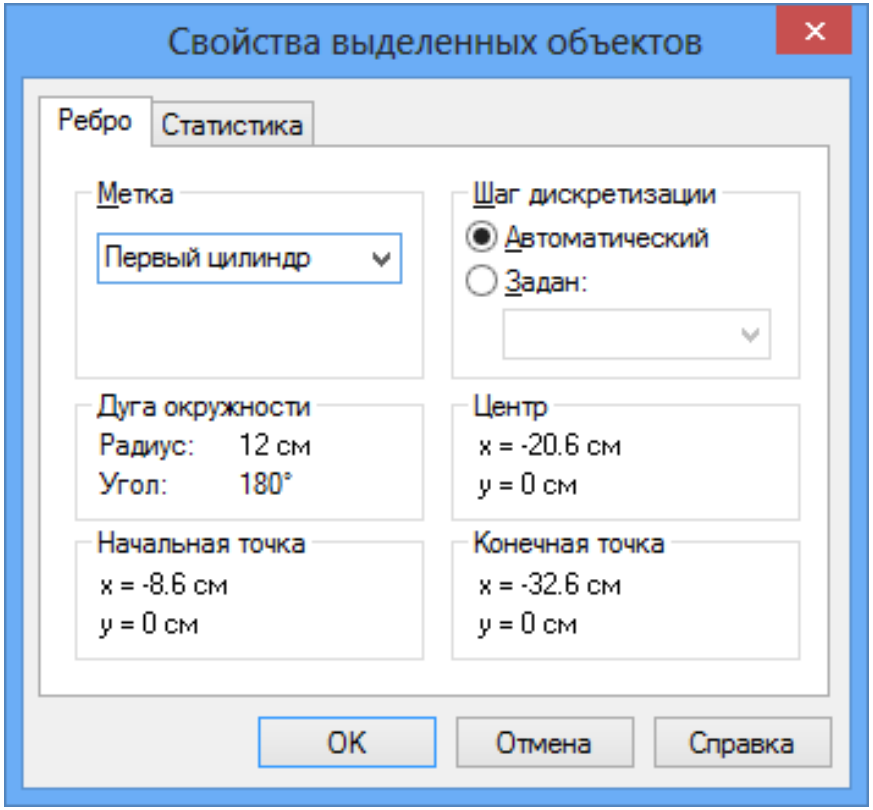




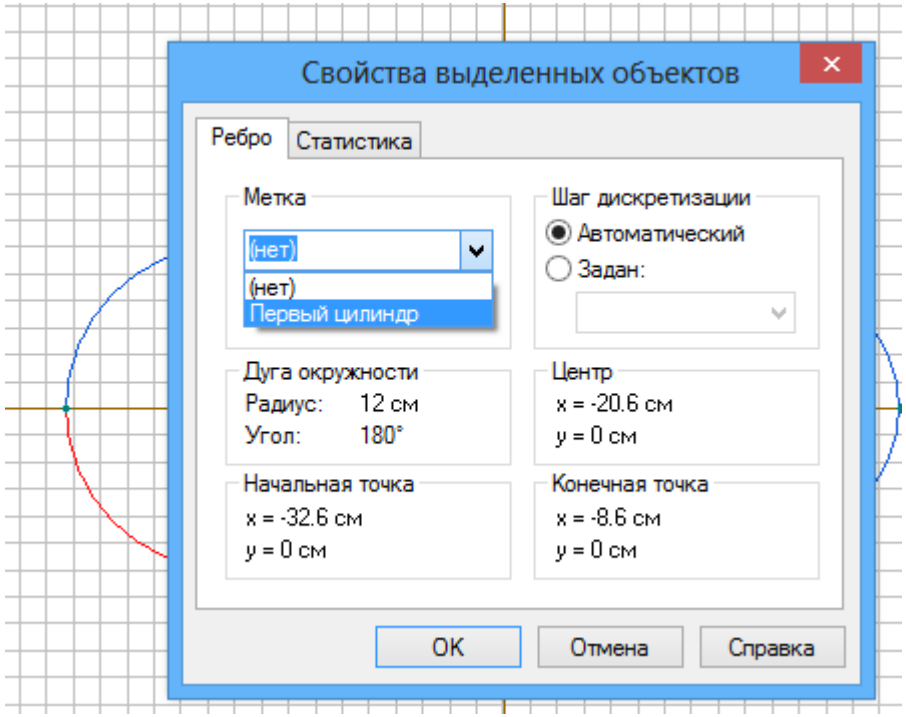
У **Диэлектрик** в списке исчез знак вопроса, так как мы задали его физические свойства. Теперь он помечен красным кубиком, как метка блока с заданными свойствами материала.



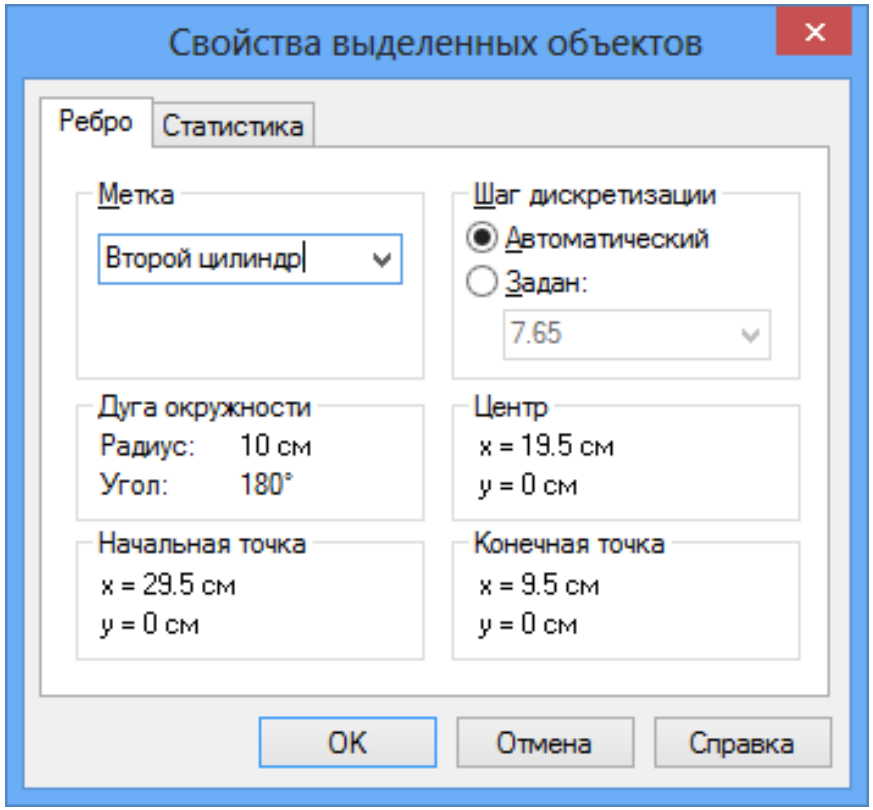
Делаем двойной щелчок мышкой по верхней полуокружности первого цилиндра и задаем *Метка* - **Первый цилиндр**, нажимаем кнопку **ОК**.



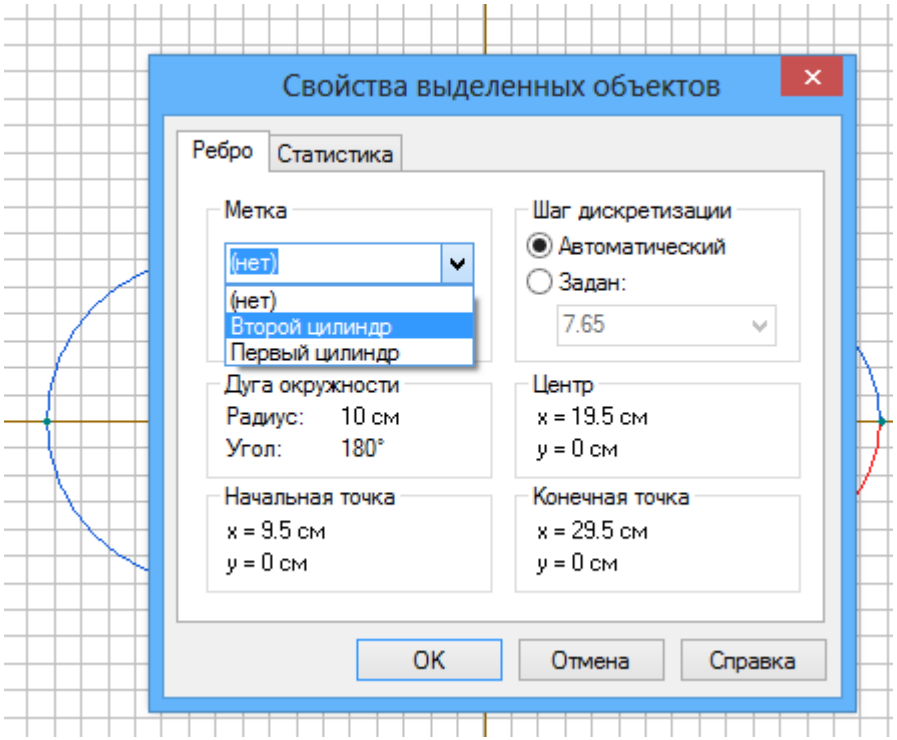
Затем делаем двойной щелчок мышкой по нижней полуокружности первого цилиндра и выбираем **Первый цилиндр** из выпадающего списка *Метка*, нажимаем кнопку **ОК**.



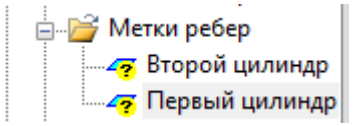
Делаем двойной щелчок мышкой по верхней полуокружности второго цилиндра и задаем *Метка* - **Второй цилиндр**, нажимаем кнопку **ОК**.



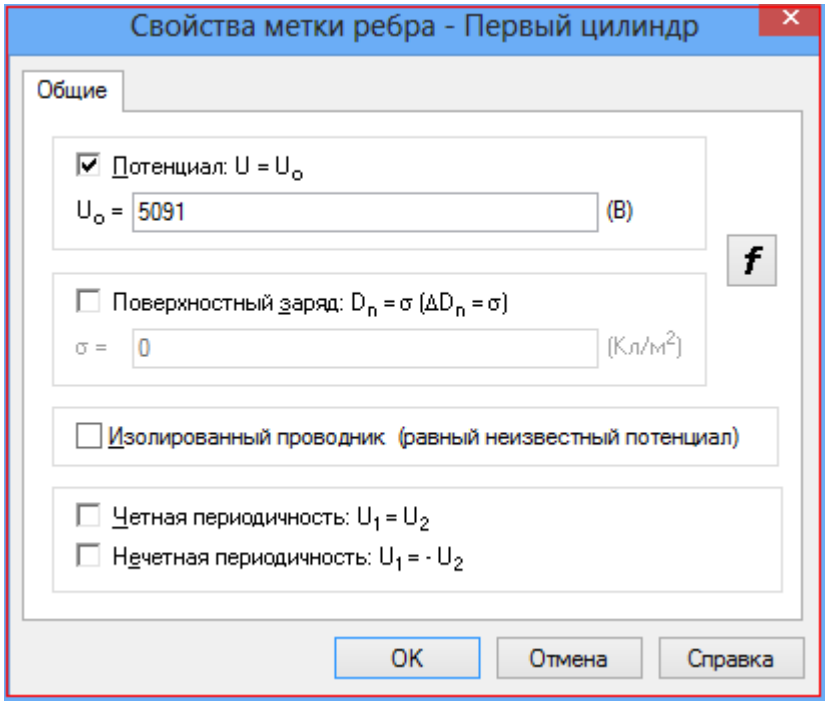
Затем делаем двойной щелчок мышкой по нижней полуокружности второго цилиндра и выбираем **Второй цилиндр** из выпадающего списка *Метка*, нажимаем кнопку **ОК**.

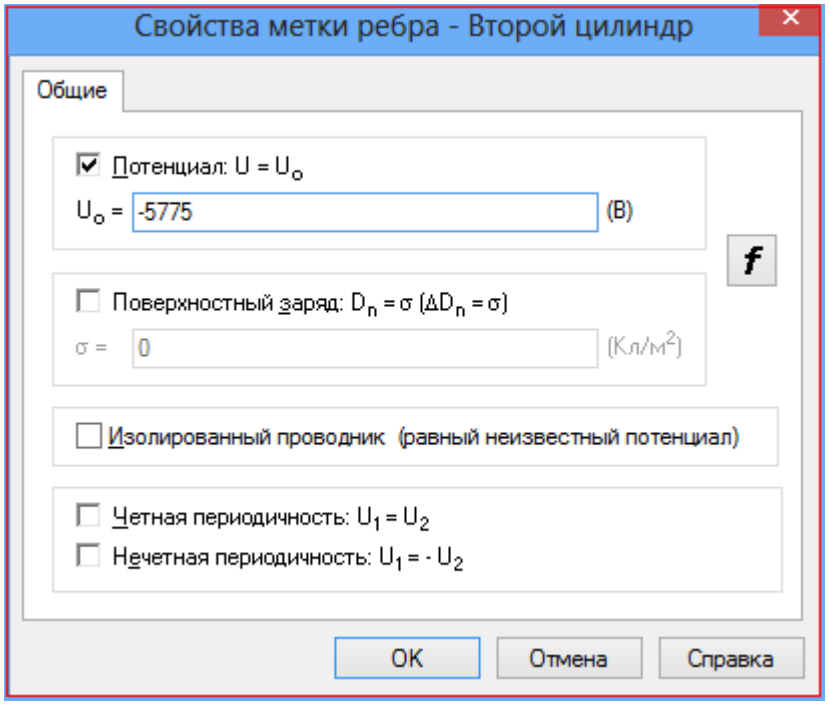


Слева в списке *Метки ребер* появляются **Первый цилиндр** и **Второй цилиндр** со знаком вопроса, так как мы не задали граничные условия на этих цилиндрах.

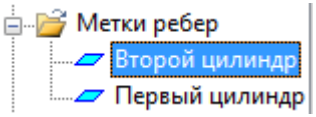


Слева в списке *Метки ребер* делаем двойной щелчок по **Первый цилиндр**, ставим галочку на *Потенциал* и задаем рассчитанный вручную потенциал первого цилиндра (φ_1) **5091** В, щелкаем по кнопке **ОК**. Потом делаем двойной щелчок по **Второй цилиндр**, ставим галочку на *Потенциал* и задаем рассчитанный вручную потенциал второго цилиндра (φ_2) **- 5775** В, щелкаем по кнопке **ОК**.

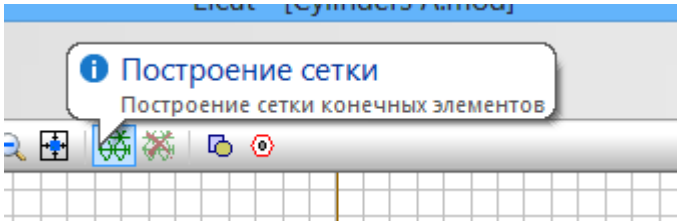




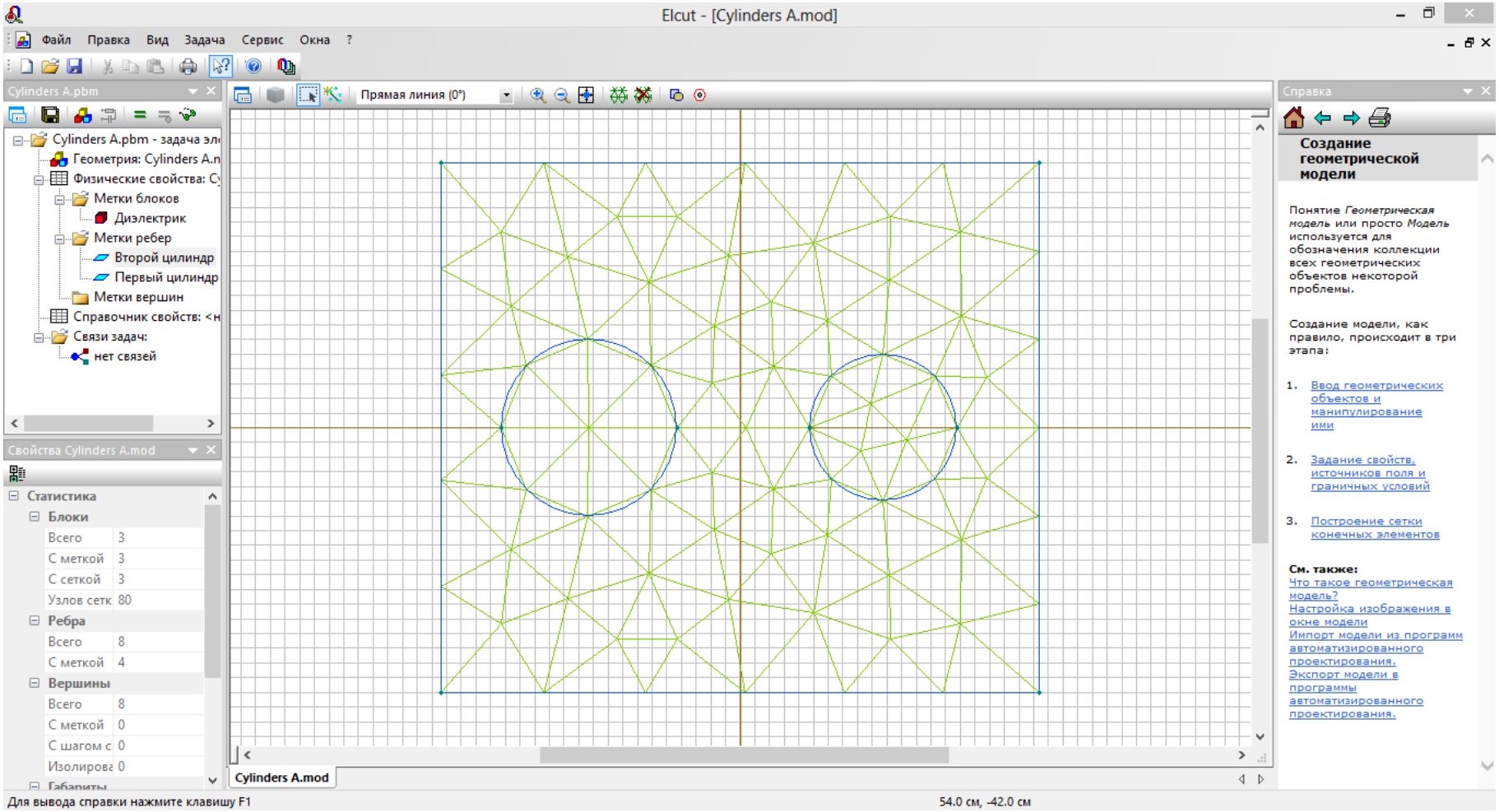
В списке метки ребер у **Первый цилиндр и Второй цилиндр** исчезли знаки вопроса, так как мы задали на них граничные условия – значения потенциалов. Теперь они помечены голубыми параллелограммами, как метки ребер с заданными граничными условиями.



Щелкаем по кнопке **Построение сетки** на панели инструментов.

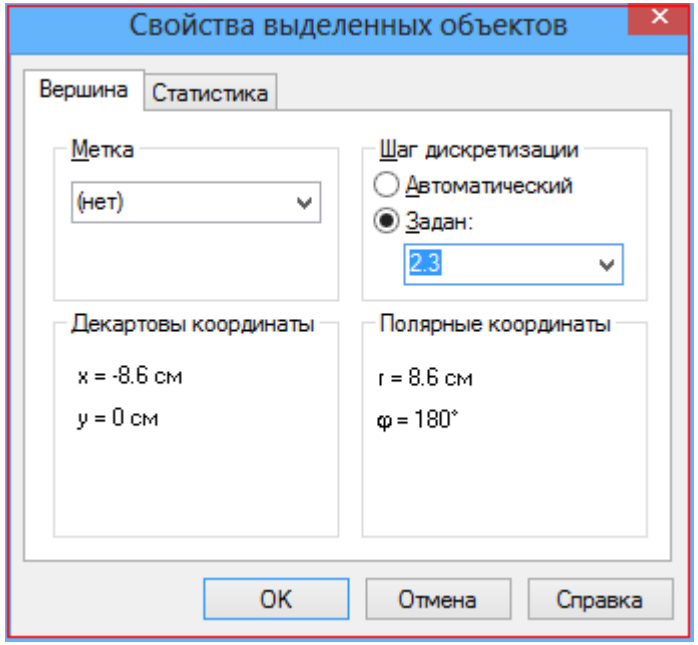


На экране отображается рабочая область, покрытая сеткой из *конечных элементов* - треугольников.

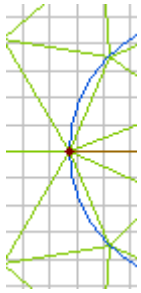


Делаем двойной щелчок по ближайшей точке большего цилиндра (в данном случае первого цилиндра, находящегося слева).

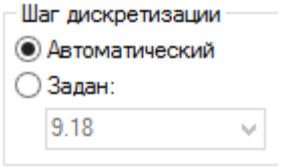
Выбираем пункт **Задан** для *Шаг дискретизации* и вводим рассчитанное только что значение **2.3** см.



Делаем двойной щелчок по ближайшей точке меньшего цилиндра (в данном случае второго цилиндра, находящегося справа) и вводим такое же значение шага – **2.3** см.



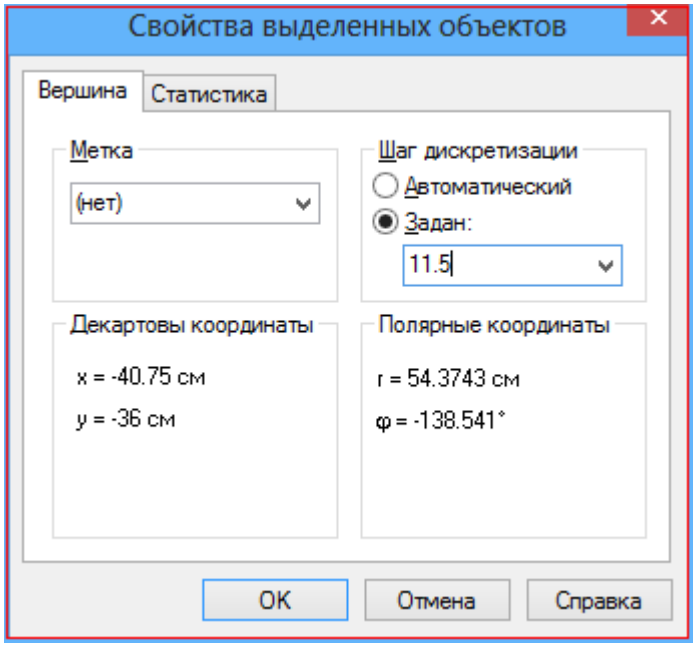
Смотрим величину шага, отображаемую в *Шаг дискретизации* (*9,18 см*), делим ее на 4 и округляем до десятых долей сантиметра.



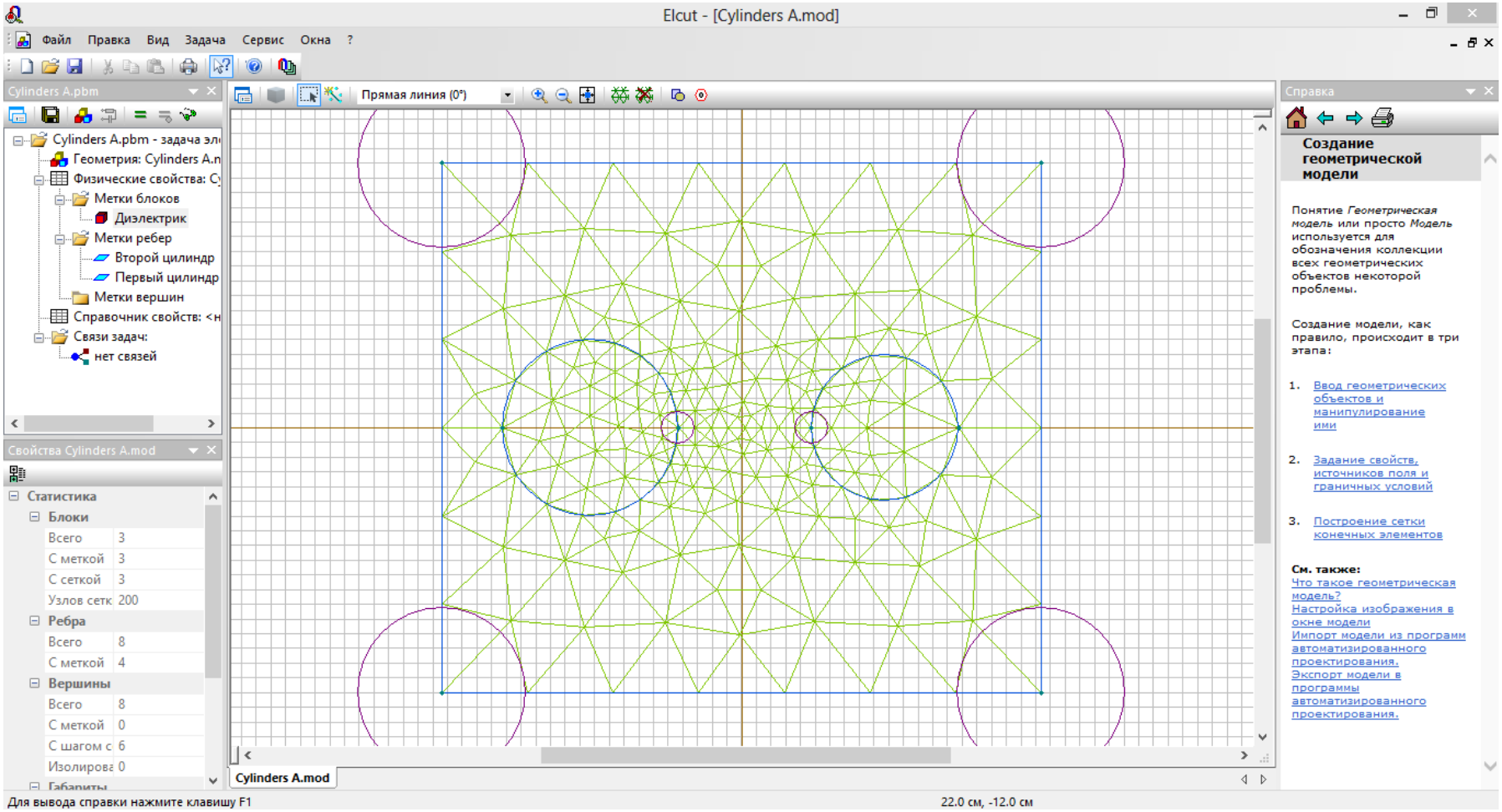
$$\frac{9{,}18}{4} = 2{,}295 \cong 2{,}3$$

Делаем двойной щелчок по каждой вершине прямоугольника и вводим увеличенное в 5 раз ранее вводимое значение шага **11.5** см.

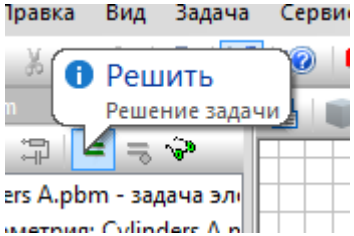
$$5 \cdot 2{,}3 = 11{,}5$$

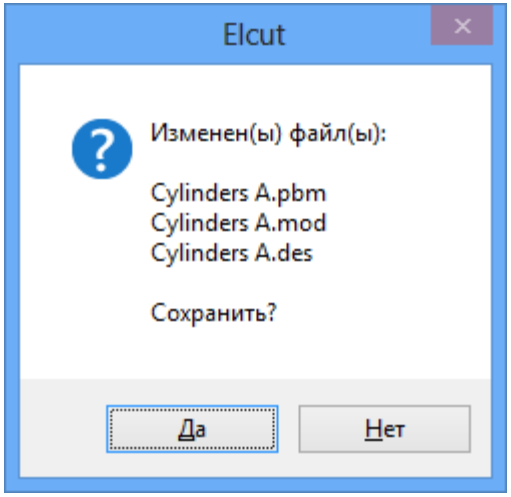


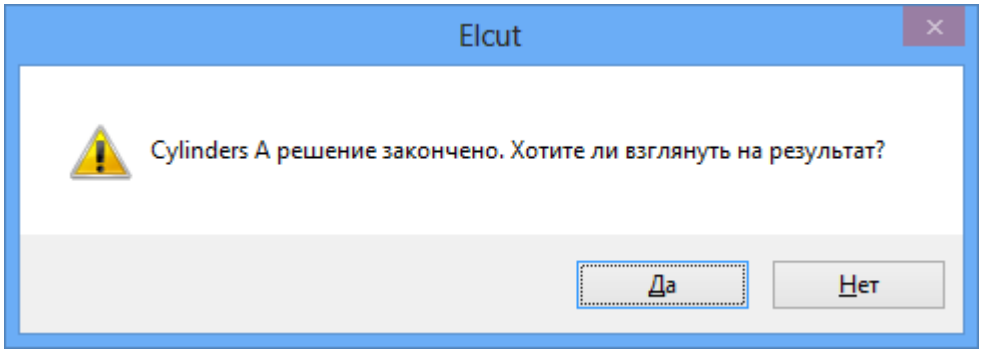
На экране отображается геометрическая модель системы цилиндров с сеткой конечных элементов, густой в областях наиболее сильного электрического поля и разреженной в областях слабого поля.



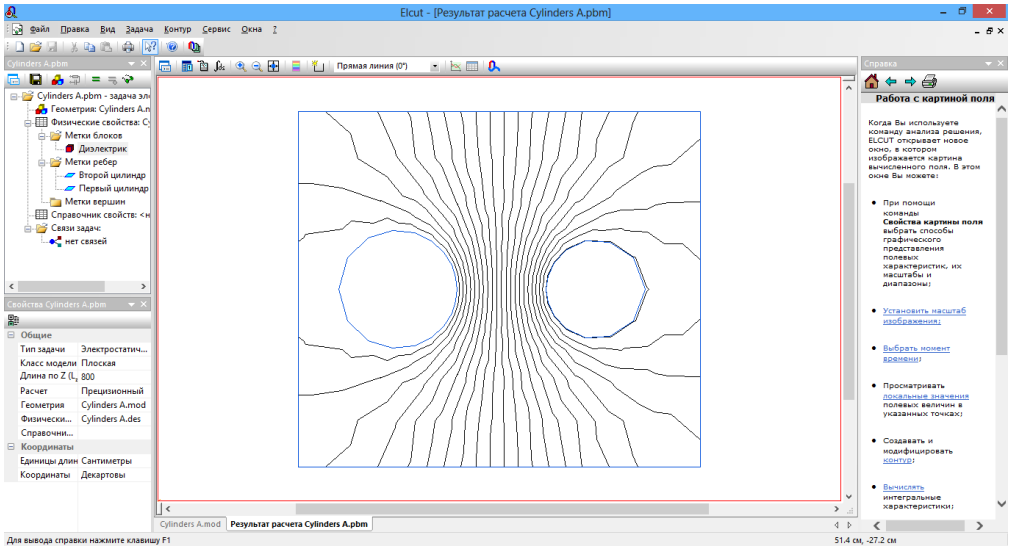
Щелкаем по кнопке **Решить**.
Подтверждаем сохранение измененных файлов, нажимая кнопку **Да**. Соглашаемся на просмотр результатов расчета, нажав кнопку **Да**.



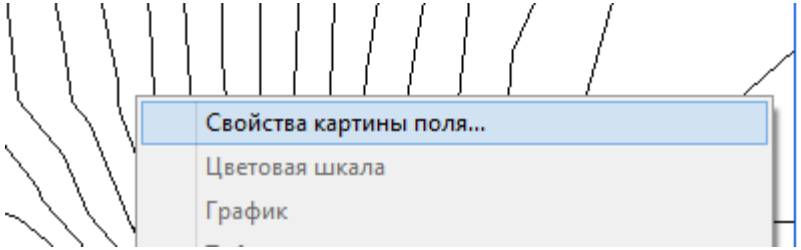




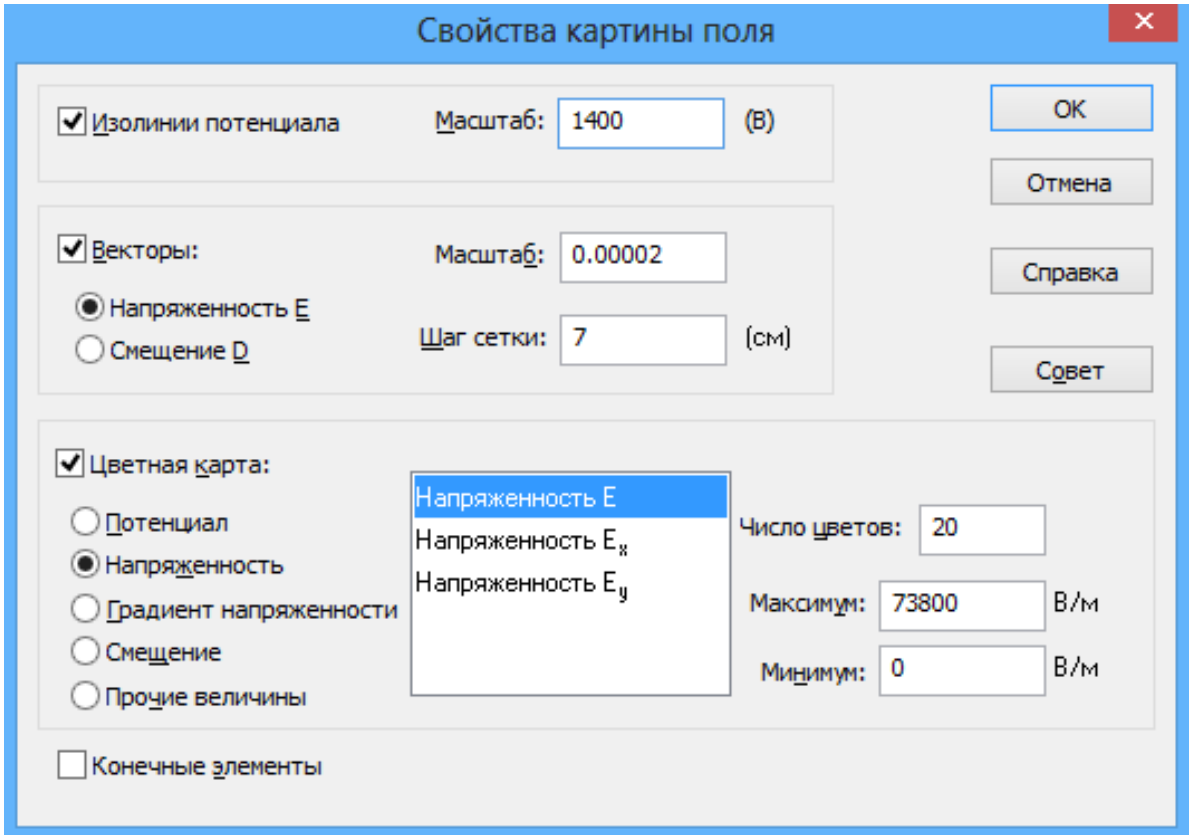
На экране отображается рассчитанная картина поля в виде эквипотенциальных линий.



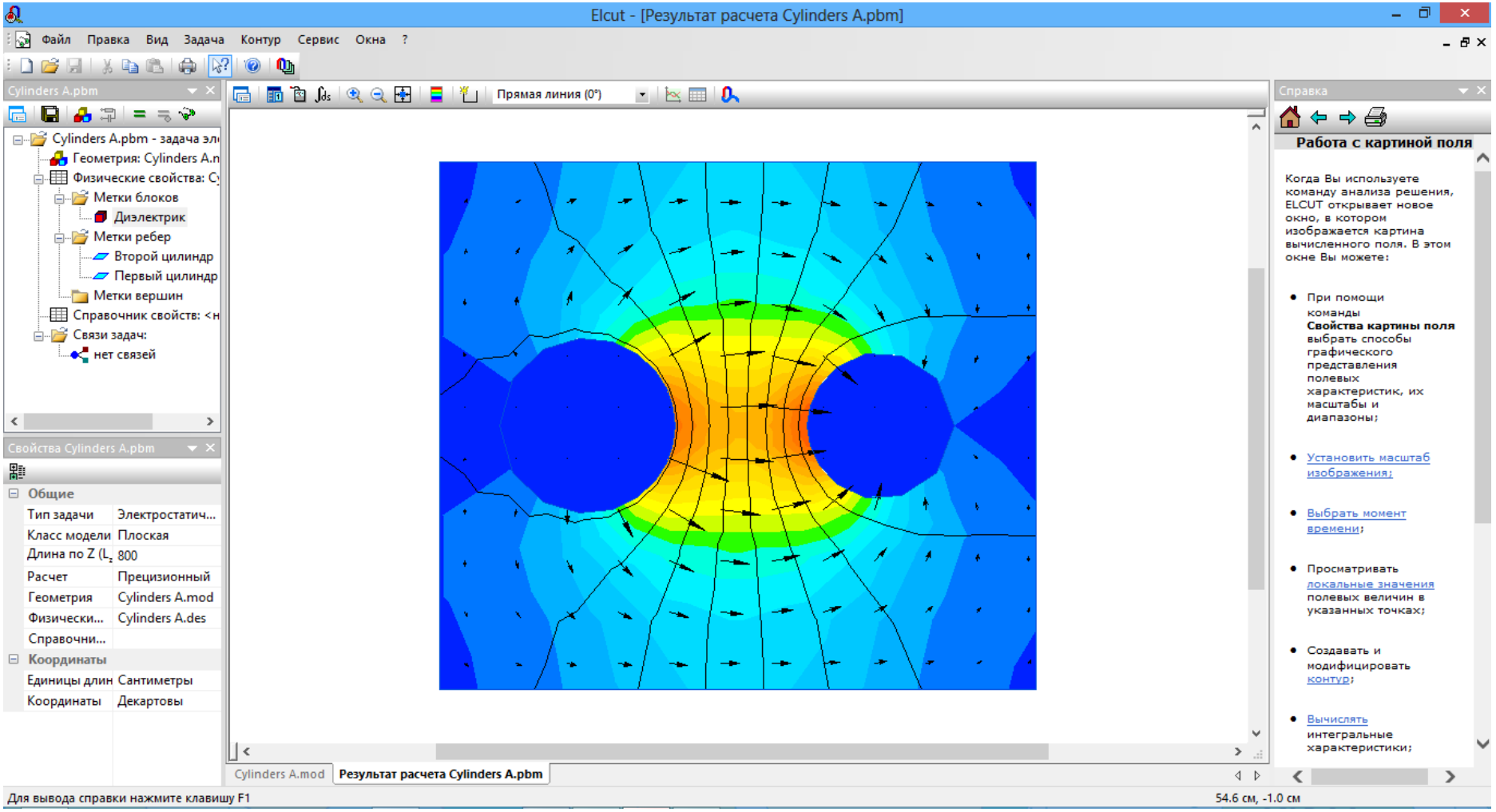
Правой кнопкой щелкаем по картинке и выбираем команду **Свойства картины поля**.



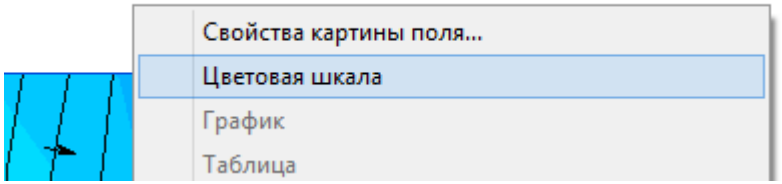
Ставим галочку *Изолинии потенциала* и задаем шаг потенциала, заданный при построении картины поля вручную ($\Delta\varphi \cong \frac{U}{8} = \frac{10866}{8} = 1358{,}25 \cong 1400$), *Масштаб* – **1400** В. Ставим галочку *Векторы* и выбираем пункт *Напряженность E*. Ставим галочку *Цветная карта* и выбираем пункт *Напряженность*. Нажимаем кнопку **ОК**.

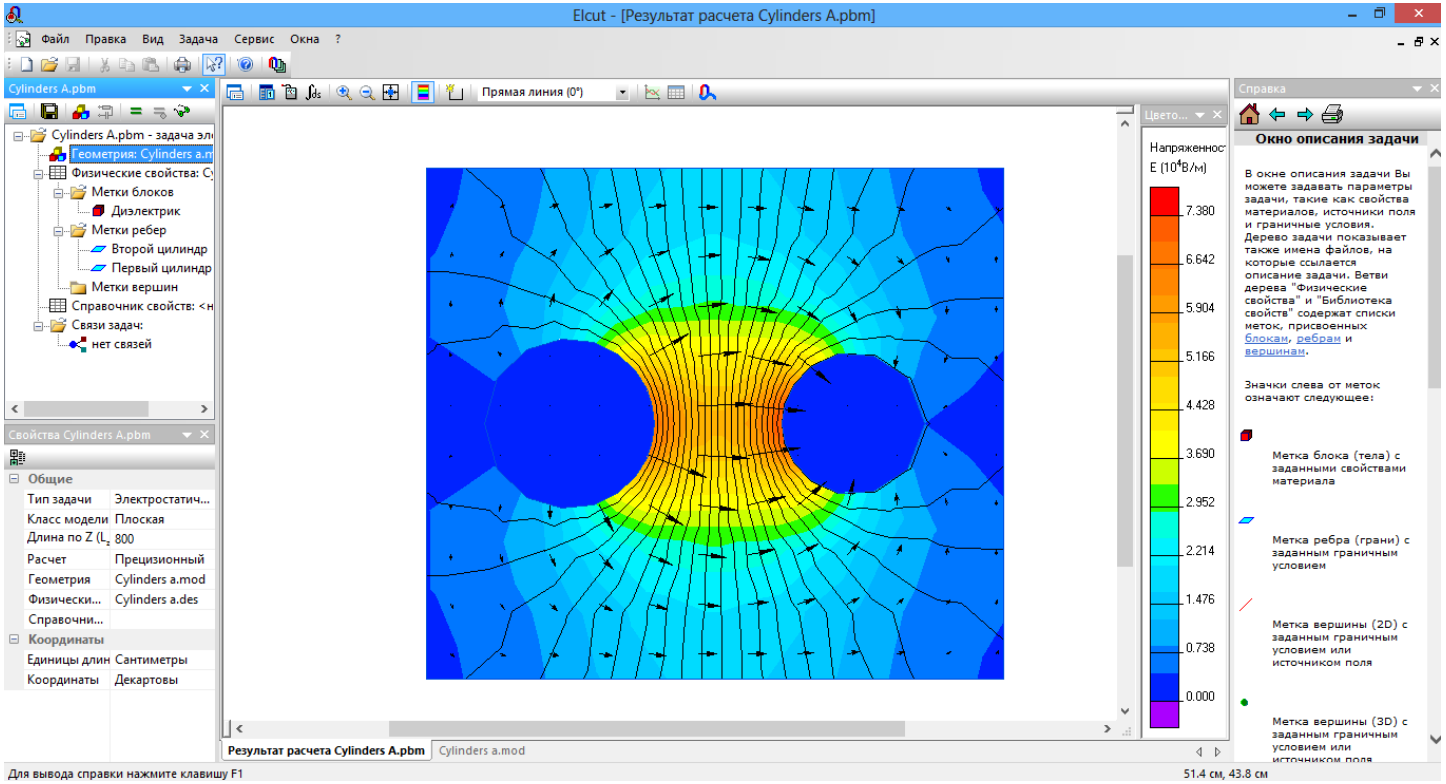


На экране отображается цветная картина поля, в которой цвет кодирует силу электрического поля в данной точке – от синего (наиболее слабого) до красного (наиболее сильного). Сплошные линии – эквипотенциальные линии. Вектора указывают направление силовых линий – от положительно заряженного цилиндра (в данном случае левого) к отрицательному (в данном случае правому).

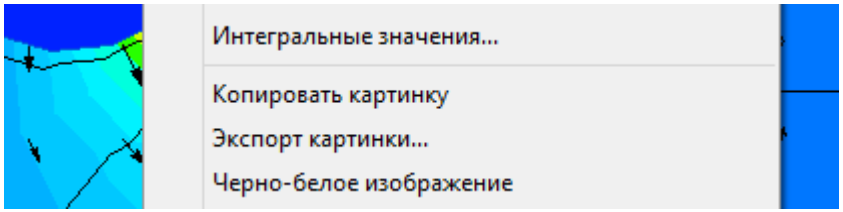


Для расшифровки значений цветов в картине поля выведем цветовую шкалу. Для этого щелкаем правой кнопкой мышки по картине поля и в появившемся контекстном меню выбираем команду **Цветовая шкала**. После этого справа от картины поля появляется цветовая шкала, где оттенкам цветов сопоставлены уровни напряженности поля.

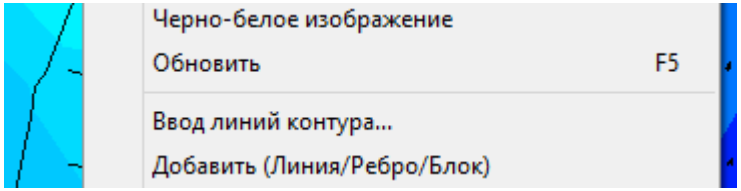




Для копирования картины поля в буфер обмена или сохранения в виде графического файла щелкаем правой кнопкой мышки по картине поля и выбираем команду **Копировать картинку** или **Экспорт картинки.**

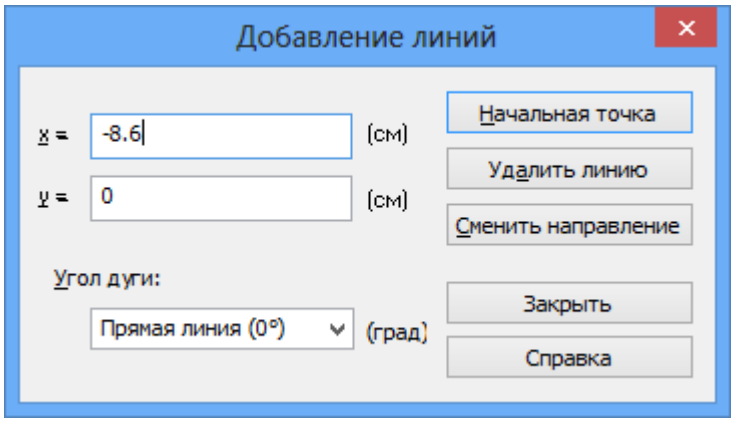


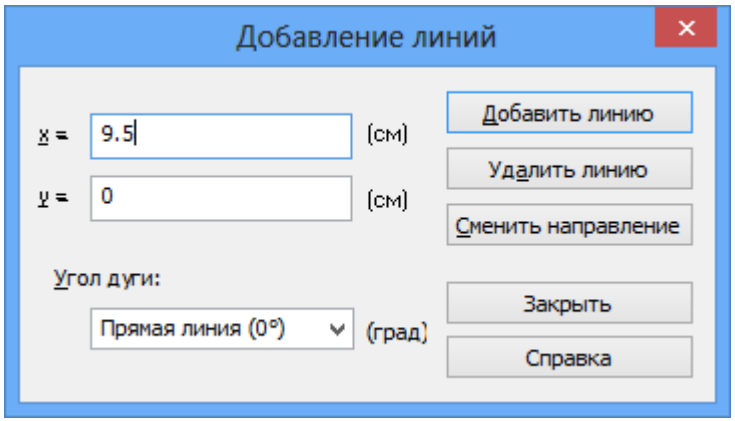
Правой кнопкой щелкаем по картине поля и выбираем команду **Ввод линий контура** из появившегося контекстного меню.



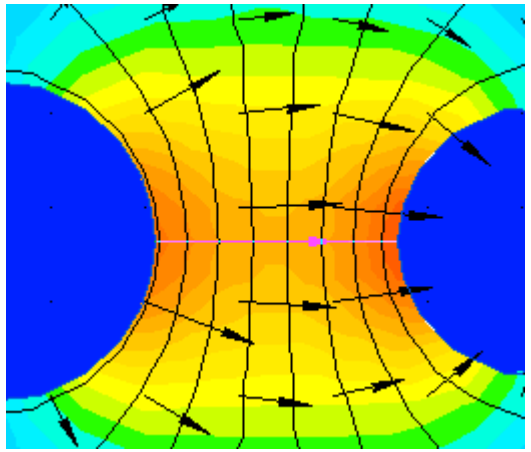
Задаем координату ближайшей ко второму цилиндру точки первого цилиндра (левого) *x* = **-8.6** см (вычисляется как $-(h_1 - R_1) = -(20{,}6 - 12) = -8{,}6$). Щелкаем по кнопке **Начальная точка**.

Задаем координату ближайшей к первому цилиндру точки второго цилиндра (правого) *x* = **9.5** см (вычисляется как $h_2 - R_2 = 19{,}5 - 10 = 9{,}5$). Щелкаем по кнопке **Добавить линию**.

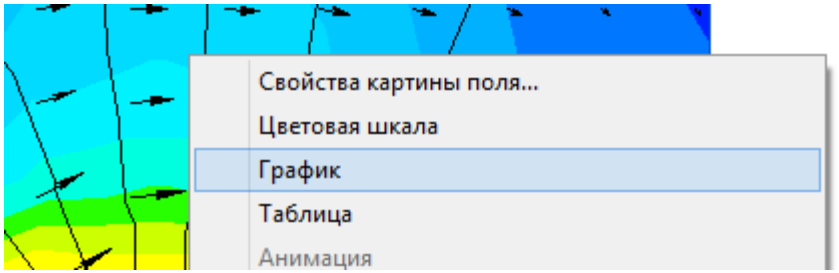




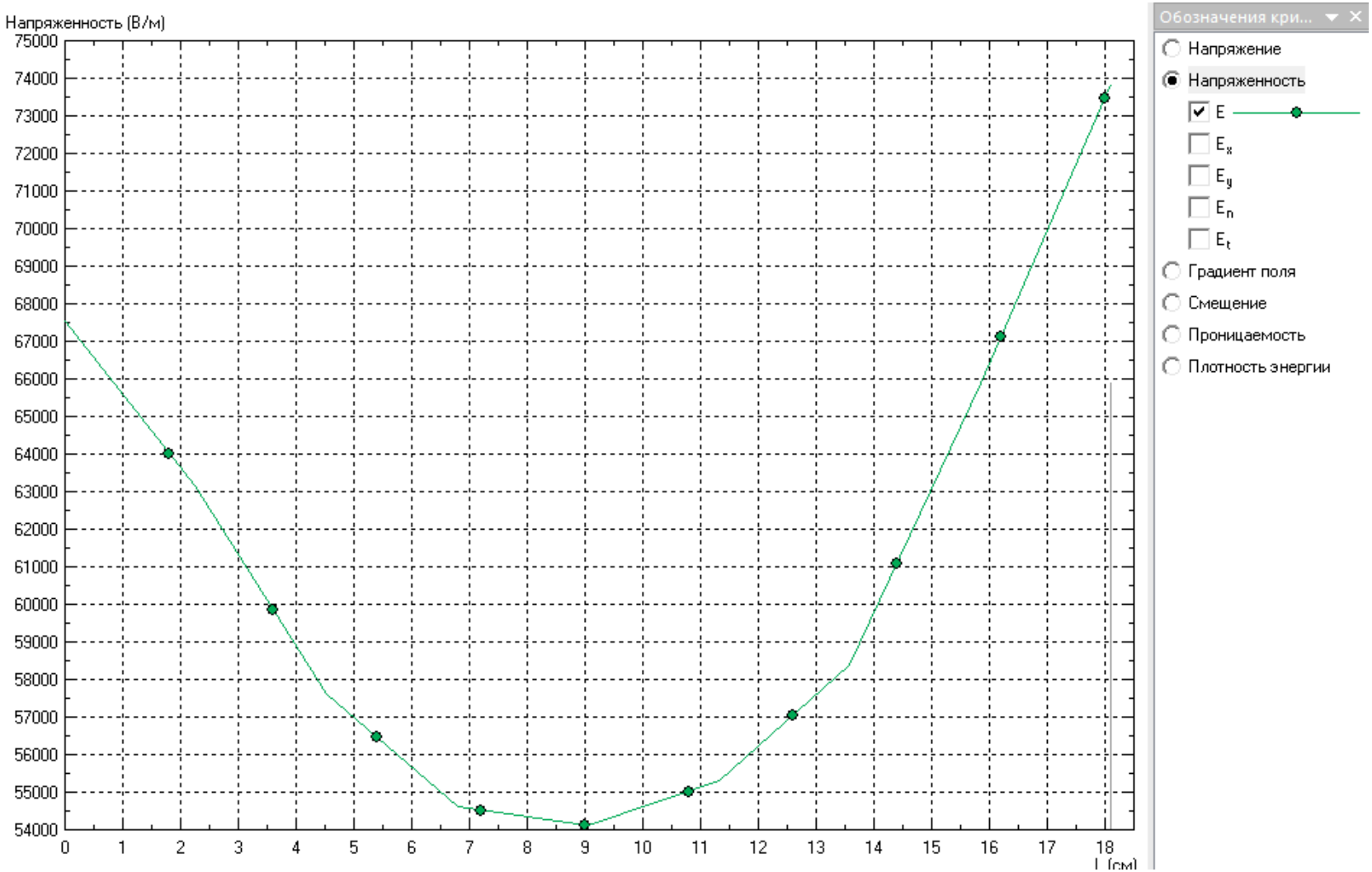
Щелкаем по кнопке **Закрыть**. На картине поля отображается розовая линия, проведенная между ближайшими точками цилиндров со стрелкой, направленной от первого цилиндра ко второму.



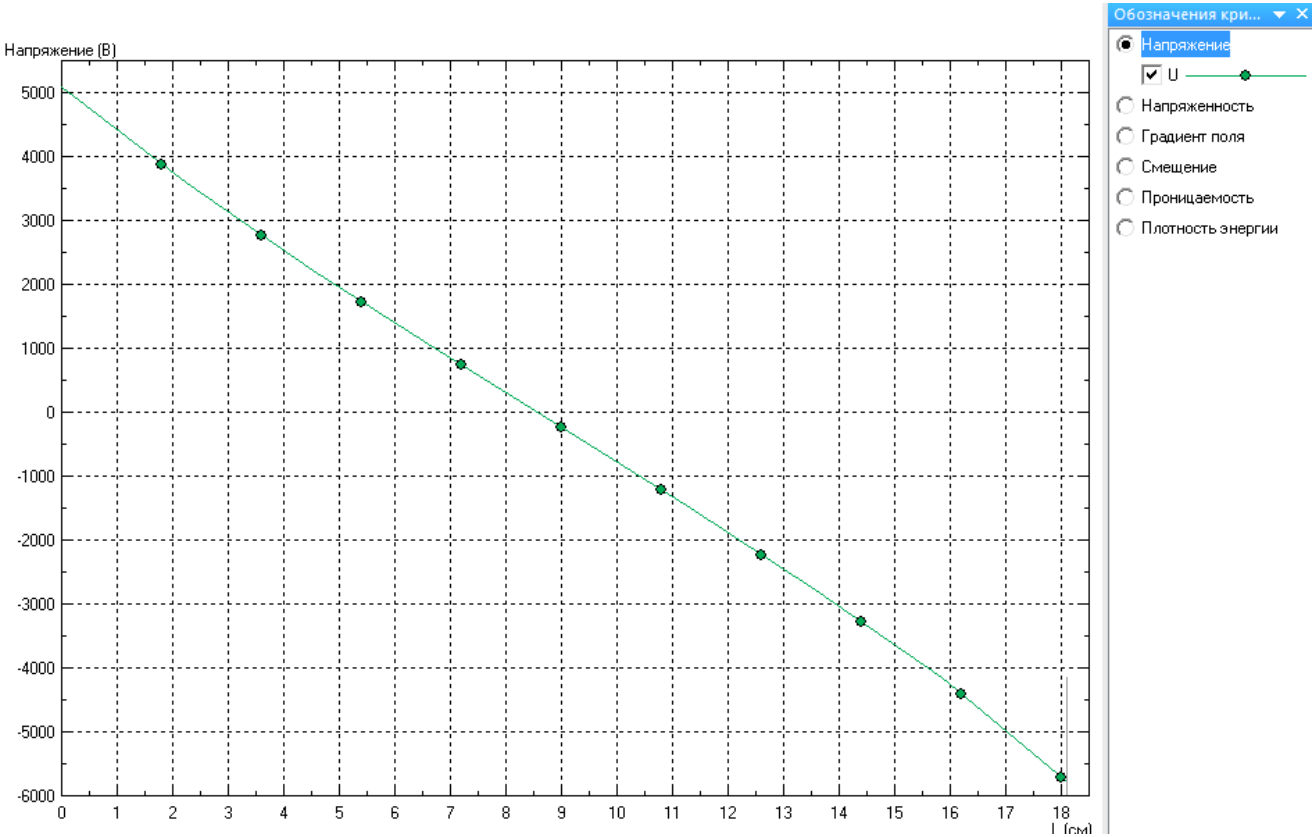
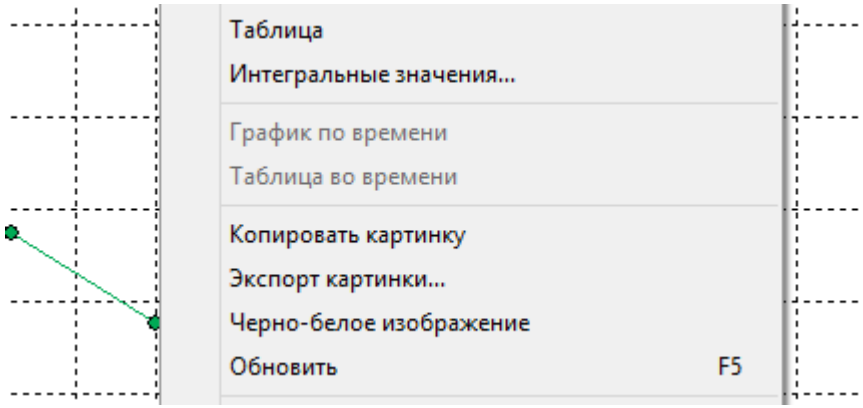
Щелкаем правой кнопкой мышки по картине поля и выбираем команду **График**.



В появившемся окне справа выбираем пункт **Напряженность**. На экране отображается график изменения напряженности поля между цилиндрами.



Затем справа выбираем пункт **Напряжение**. На экране отображается график изменения потенциала поля между цилиндрами.



Для копирования графика в буфер обмена или сохранения в виде графического файла щелкаем правой кнопкой мышки по графику и выбираем команду **Копировать картинку** или **Экспорт картинки.**