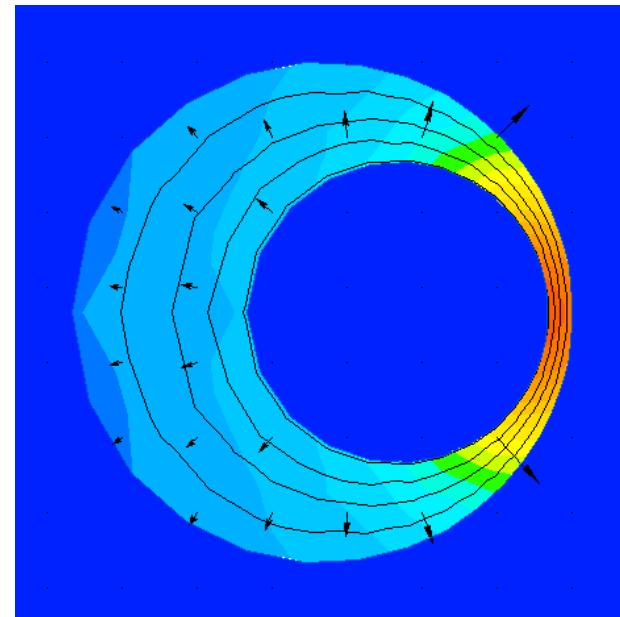
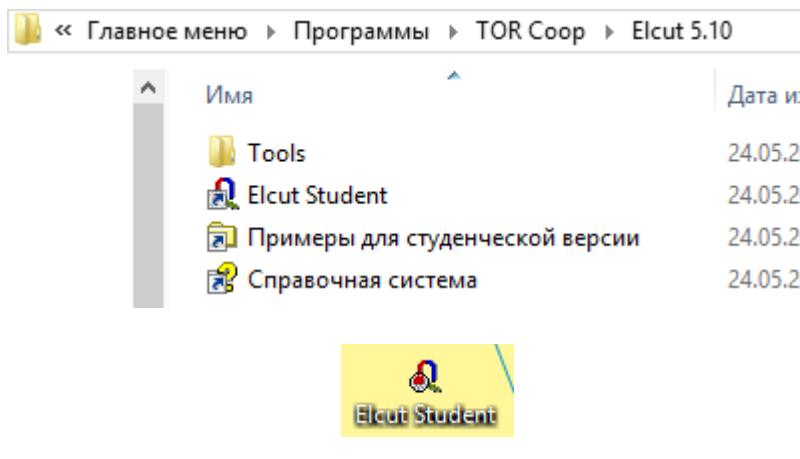


Моделирование электростатического поля двух параллельных несоосных заряженных цилиндров

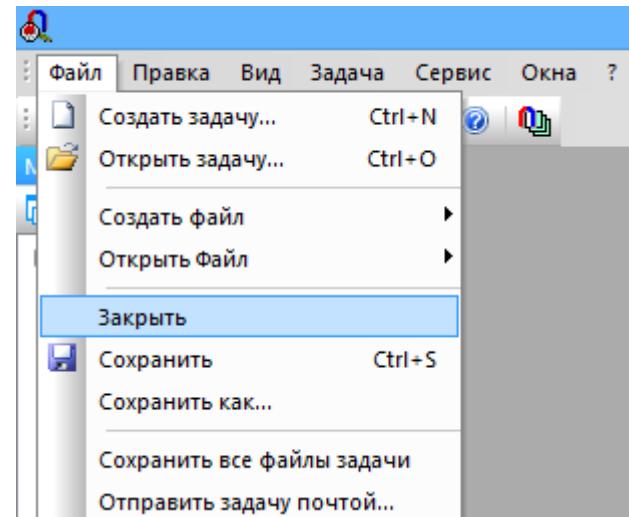
Вариант В



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.

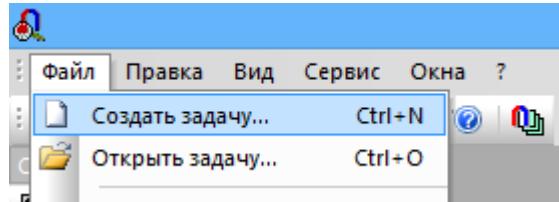
Исходные данные и результаты предварительного расчета.

В рассматриваемом примере заданы:

$$R_1 = 12 \text{ см}, R_2 = 20 \text{ см}, D = 6 \text{ см}, \ell = 10 \text{ м}, \epsilon_r = 4.$$

Предварительно рассчитаны: $h_1 = 18,3 \text{ см}$, $h_2 = 24,3 \text{ см}$, $\varphi_1 = 11613 \text{ В}$, $\varphi_2 = 7613 \text{ В}$, $U = 4000 \text{ В}$.

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



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

Создание задачи

Введите имя и расположение новой задачи, или выберите нужную папку, пользуясь кнопкой Обзор.

Имя файла задачи: Обзор...

Создать в папке: Обзор...

Использовать существующую задачу как образец Сделать новую задачу как копию образца

Выберите задачу -

< Назад Далее > Отмена Справка

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 **1000 см** (ℓ)), берется из исходных данных). Затем нажимаем кнопку **Готово**.

Создание задачи

Выберите тип и другие параметры новой задачи. Можете также изменить имена файлов, в которых будут сохранены геометрическая модель и физические свойства.

Тип задачи: Единицы длины

Класс модели: Координаты

$L_z =$ см Расчет

Файлы

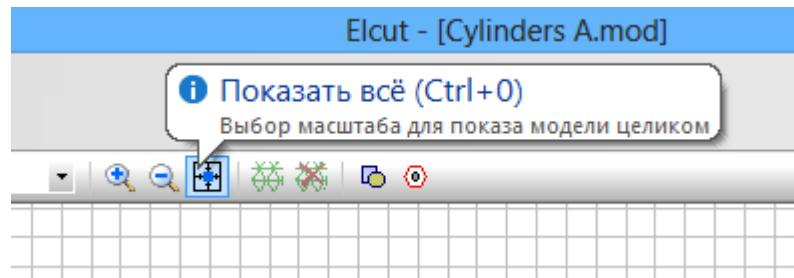
Геометрия: Обзор...

Свойства: Открыть...

Справочник:

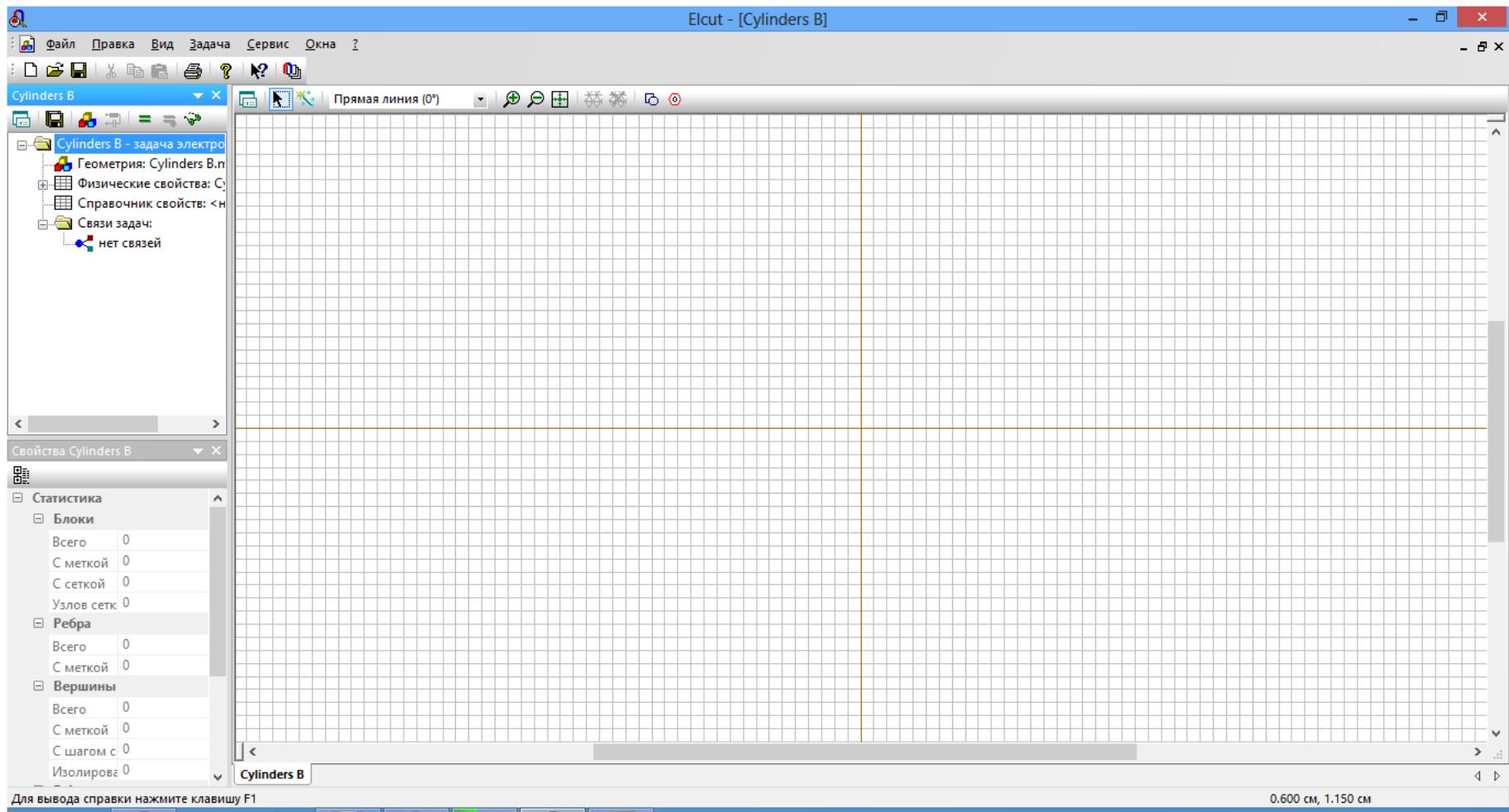
Цель:

< Назад Готово Отмена Справка

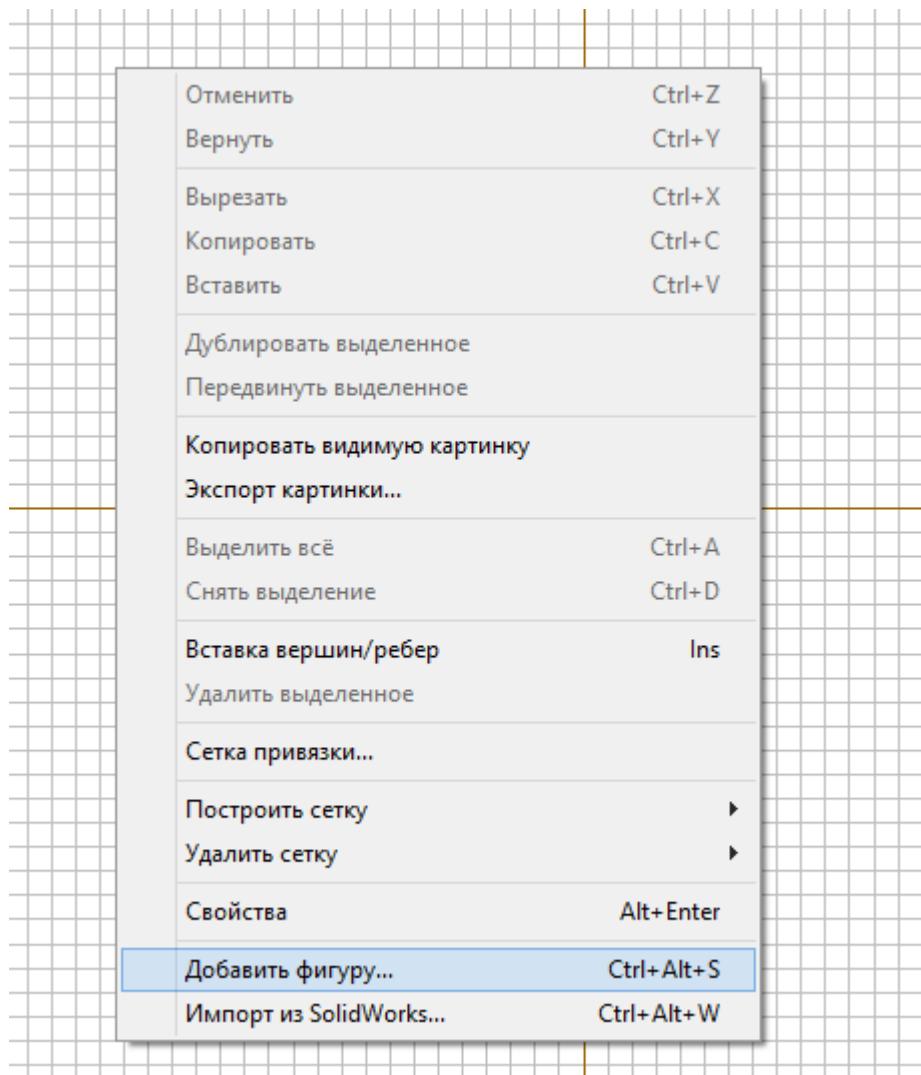


Нажимаем на кнопку **Показать Всё** на панели инструментов.

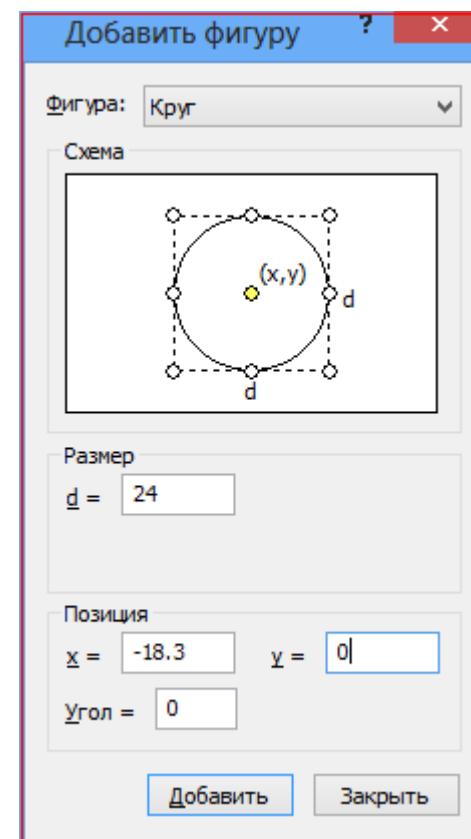
На экране отображается рабочая область для создания модели:



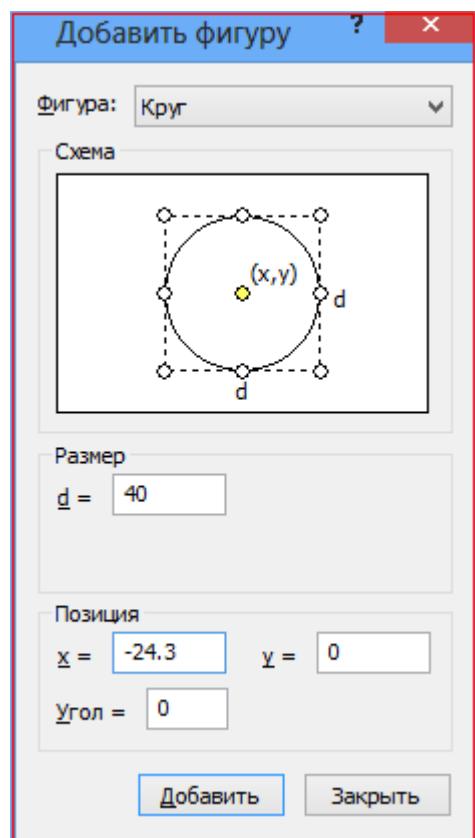
Щелкаем правой кнопкой мышки в рабочей области, выбираем команду **Добавить фигуру** в появившемся контекстном меню.



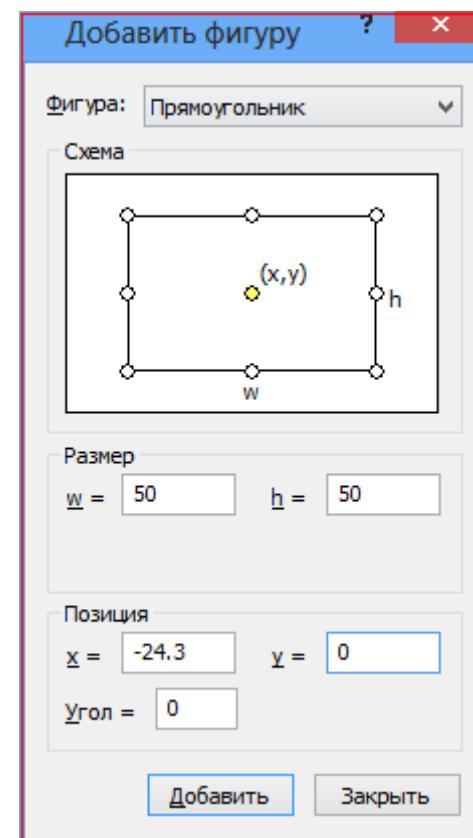
Выбираем **Фигура Круг**, указываем диаметр первого цилиндра (расположенного внутри второго) $d = 24$ см (удвоенный радиус цилиндра R_1 , взятый из исходных данных задачи) и координаты его центра $x = -18.3$ см ($-h_1$ из предварительного расчета), $y = 0$ см. Нажимаем кнопку **Добавить**.



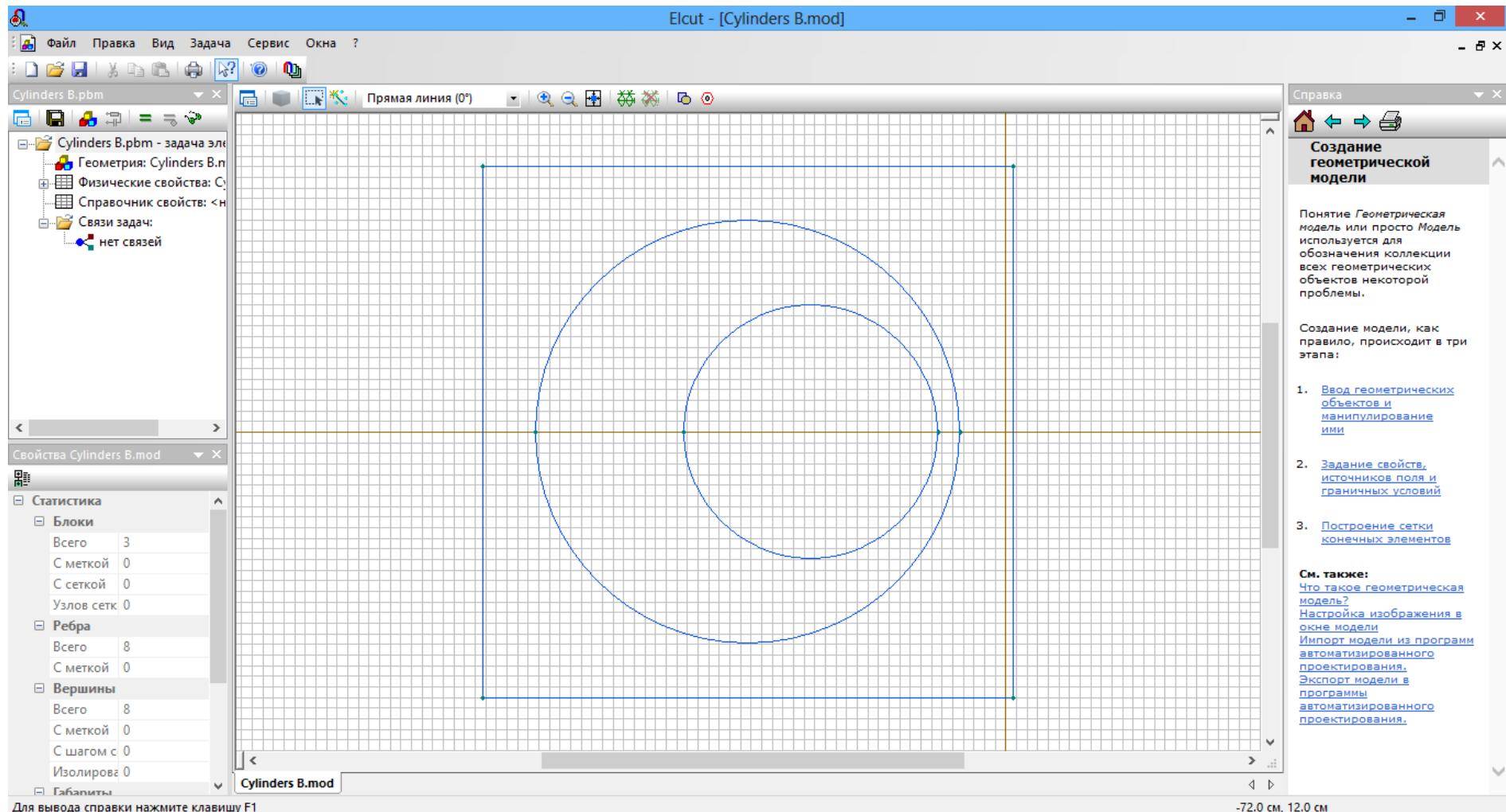
После добавления первого цилиндра не закрываем окно *Добавить фигуру*, а добавляем второй цилиндр (расположенный снаружи), указывая диаметр $d = 40$ см (удвоенный радиус R_2) и координаты центра $x = -24.3$ см ($-h_2$ из предварительного расчета), $y = 0$ см и нажимая кнопку **Добавить**.



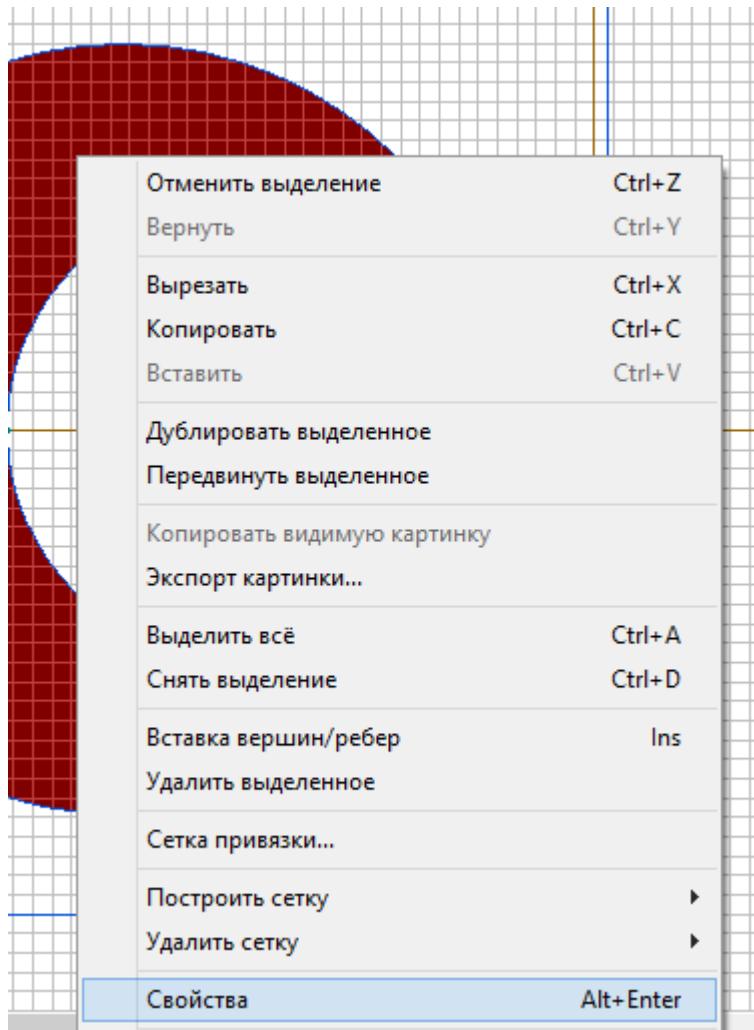
Затем задаем размеры области моделирования: указываем **Фигура** **Прямоугольник** и размеры – **ширина** и **высота**, равные $2,5 \cdot R_{max}$, где R_{max} – радиус большего цилиндра (в данном случае $2,5 \cdot 20 = 50$),
 $w = 50$ см, $h = 50$ см,
координаты центра $x = -h_{max}$, где h_{max} – расстояние от центра внешнего цилиндра до линии нулевого потенциала(соответствует центру внешнего цилиндра, в данном случае $x = -24.3$ см), $y = 0$ см.
а потом нажимаем кнопку **Добавить**, а затем кнопку **Закрыть**.



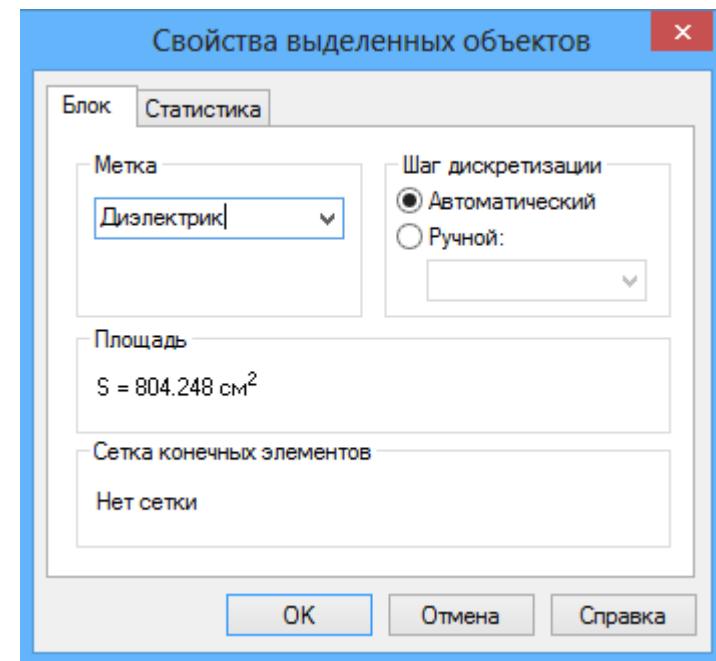
Нажимаем на кнопку **Показать Всё** на панели инструментов. На экране отображается рабочая область с геометрическими моделями цилиндров.



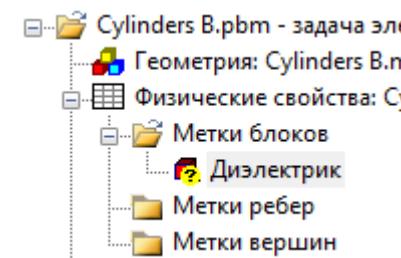
Правой кнопкой мышки щелкаем по диэлектрику между цилиндрами (при этом он выделяется красным цветом), выбираем команду **Свойства** в появившемся контекстном меню.



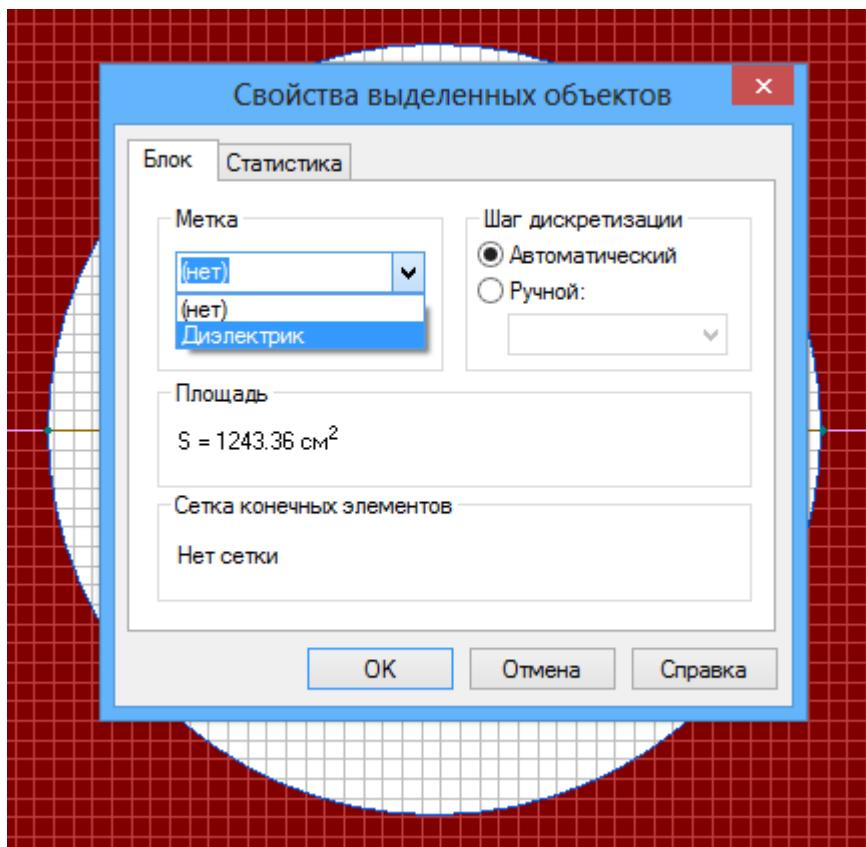
Задаем Метка - **Диэлектрик**, нажимаем кнопку **OK**.



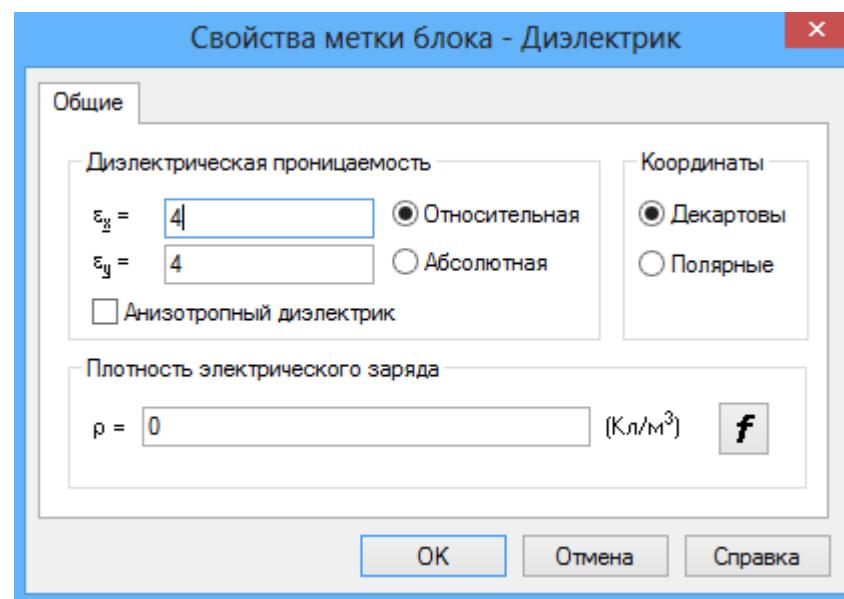
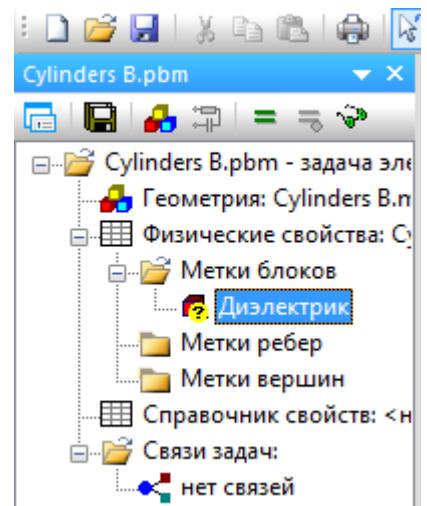
Слева в списке **Метки блоков** появляется **Диэлектрик** со знаком вопроса, так как мы не задали его физические свойства.



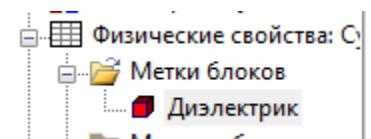
Делаем двойной щелчок мышкой внутри меньшего цилиндра и снаружи большого цилиндра (они при этом выделяются красным цветом) и выбираем оба раза из списка **Метка - Диэлектрик** и нажимаем кнопку **OK**.



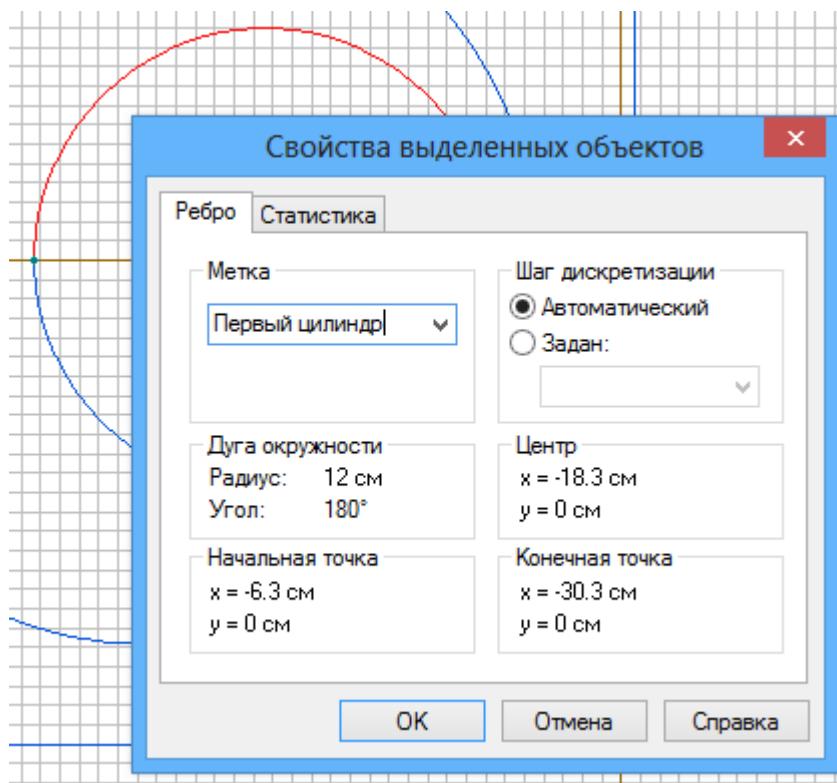
В списке **Метки блоков** делаем двойной щелчок мышкой по **Диэлектрик** и задаем относительная **Диэлектрическая проницаемость** $\epsilon_x = 4$ и $\epsilon_y = 4$ (оба значения одинаковы и берутся из исходных данных задачи (ϵ_r)). Нажимаем кнопку **OK**.



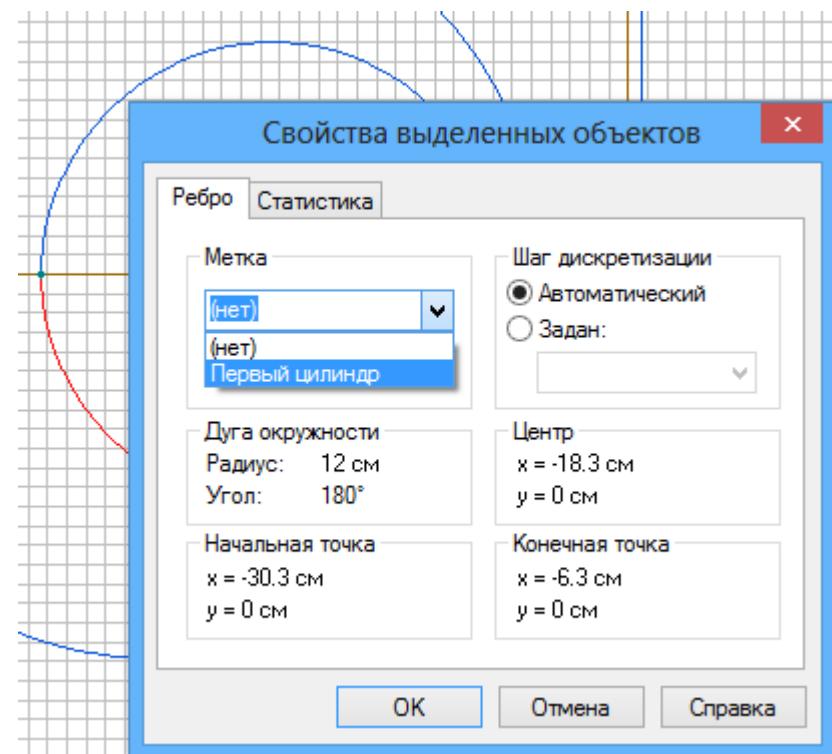
У **Диэлектрик** в списке исчез знак вопроса, так как мы задали его физические свойства.



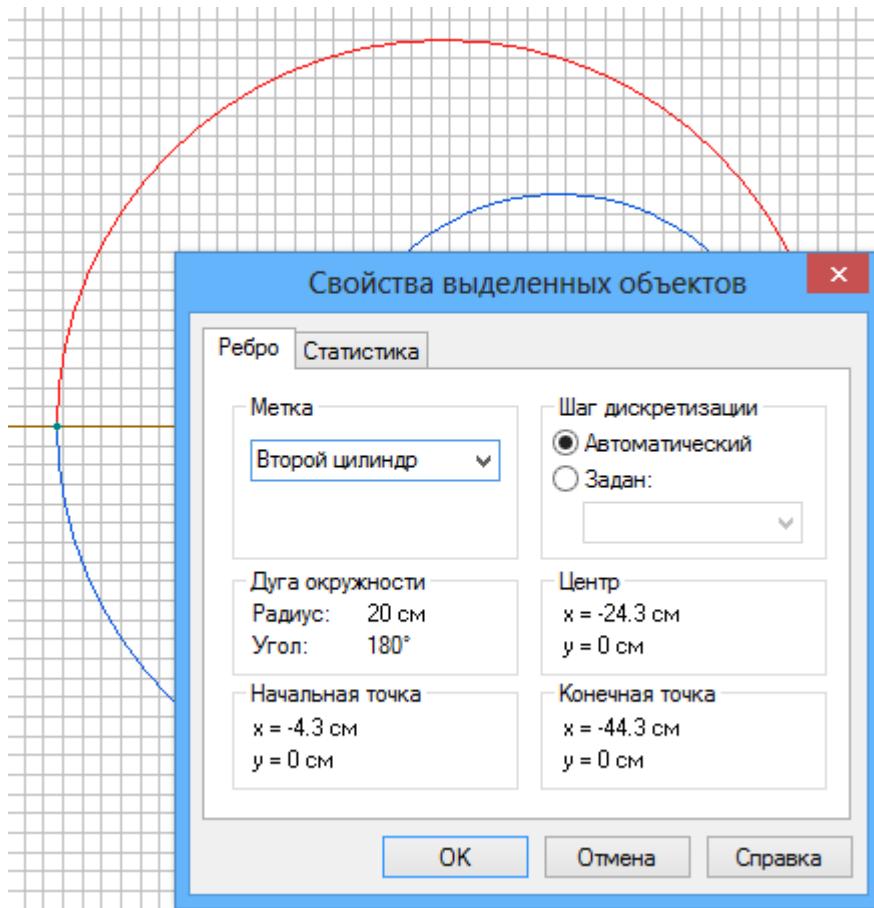
Делаем двойной щелчок мышкой по верхней полуокружности первого цилиндра (в данном примере это внутренний цилиндр) и задаем *Метка* - **Первый цилиндр**, нажимаем кнопку **OK**.



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

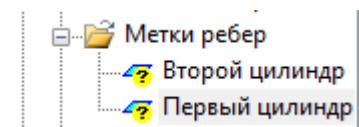
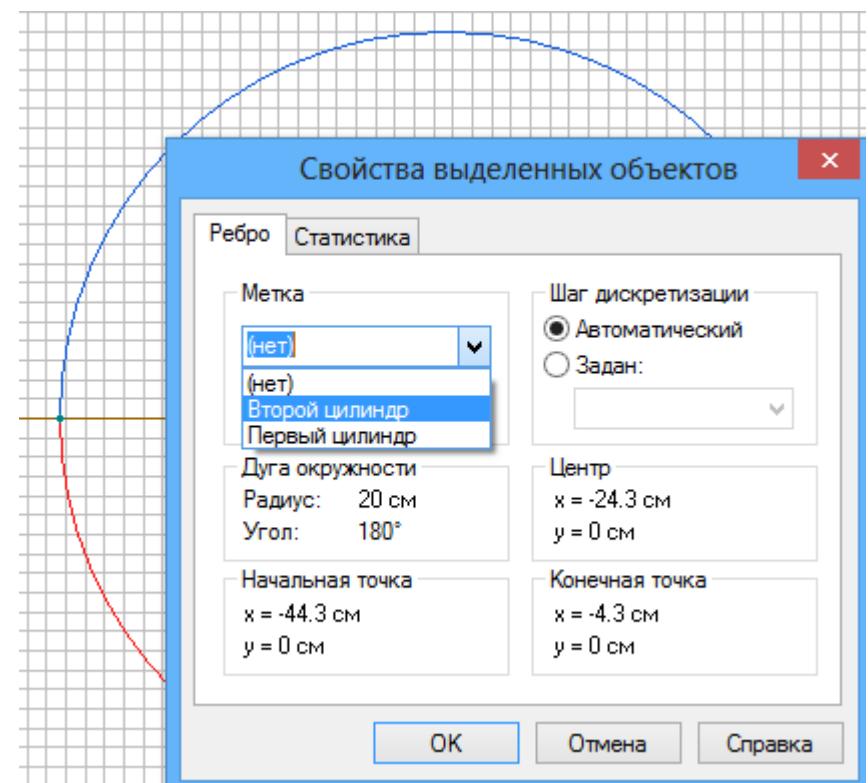


Делаем двойной щелчок мышкой по верхней полуокружности второго цилиндра и задаем **Метка - Второй цилиндр**, нажимаем кнопку **OK**.

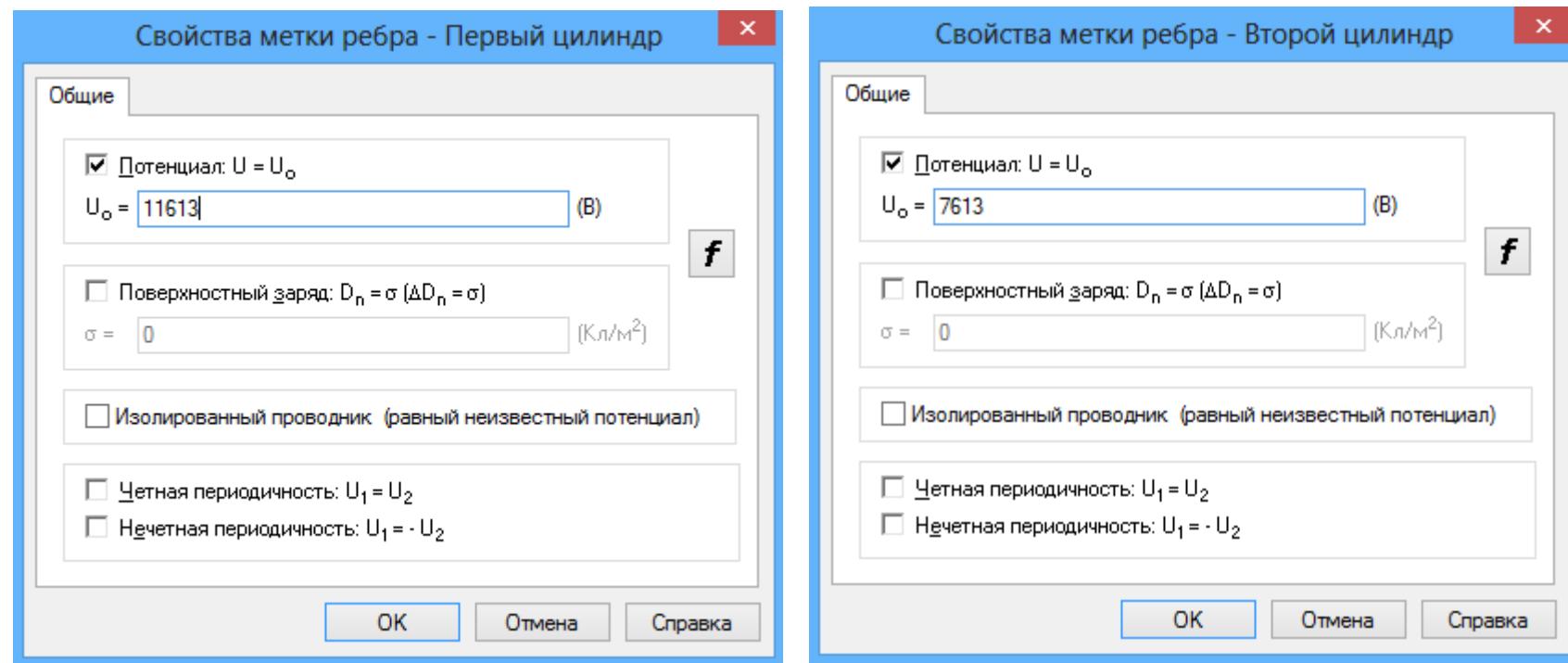


Слева в списке **Метки ребер** появляются **Первый цилиндр** и **Второй цилиндр** со знаком вопроса, так как мы не задали граничные условия на этих цилиндрах.

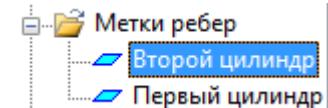
Затем делаем двойной щелчок мышкой по нижней полуокружности второго цилиндра и выбираем **Второй цилиндр** из выпадающего списка **Метка**, нажимаем кнопку **OK**.



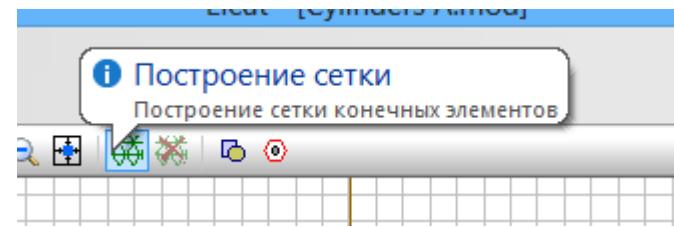
Слева в списке *Метки ребер* делаем двойной щелчок по **Первый цилиндр**, ставим галочку на *Потенциал* и задаем рассчитанный вручную потенциал первого цилиндра (ϕ_1) **11613** В, щелкаем по кнопке **OK**. Потом делаем двойной щелчок по **Второй цилиндр**, ставим галочку на *Потенциал* и задаем рассчитанный вручную потенциал второго цилиндра (ϕ_2) **7613** В, щелкаем по кнопке **OK**.



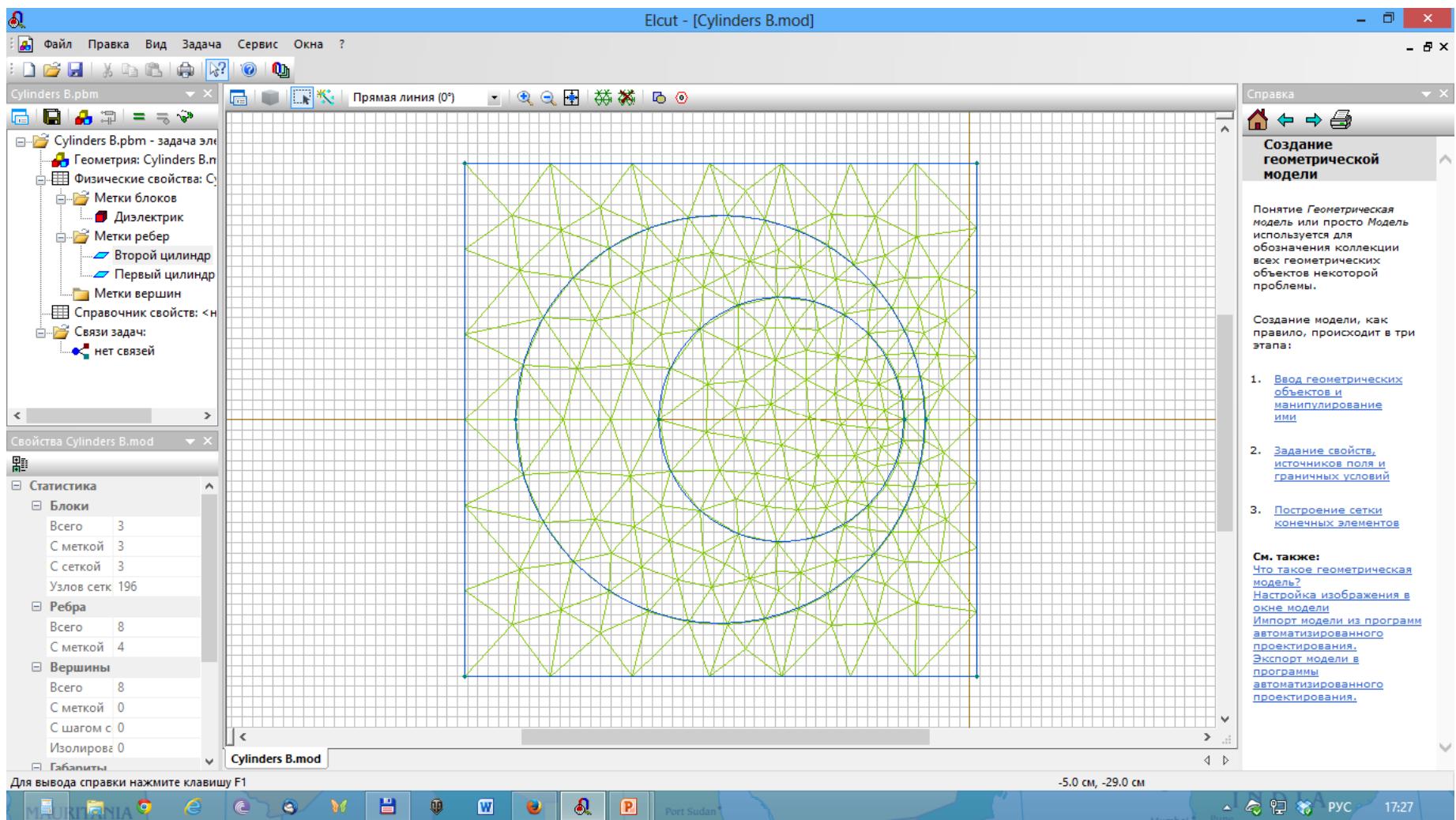
В списке метки ребер у **Первый цилиндр** и **Второй цилиндр** исчезли знаки вопроса, так как мы задали на них граничные условия – значения потенциалов.



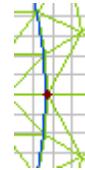
Щелкаем по кнопке **Построение сетки**
на панели инструментов.



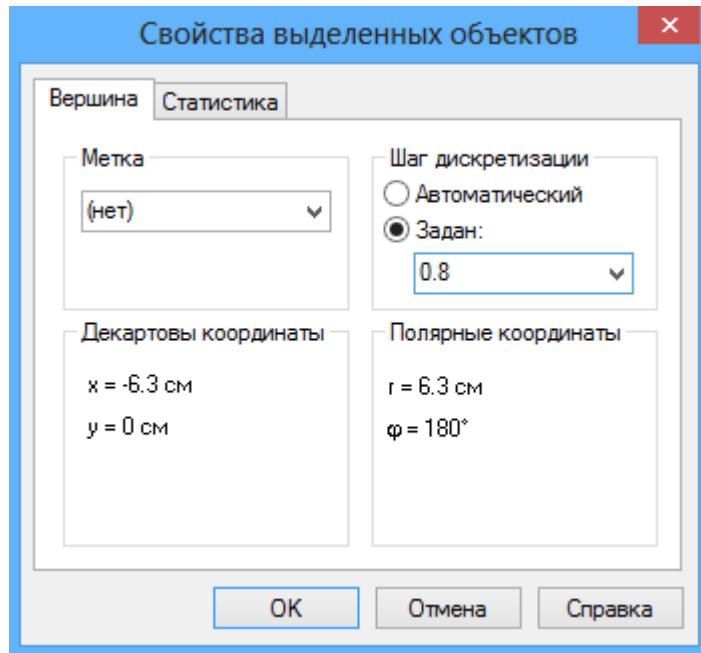
На экране отображается рабочая область, покрытая сеткой из **конечных элементов** - треугольников.



Делаем двойной щелчок по ближайшей точке большего цилиндра (в данном случае второго цилиндра).



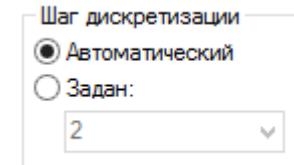
Выбираем пункт **Задан** для **Шаг дискретизации** и вводим рассчитанное только что значение **0,8 см**.



Делаем двойной щелчок по ближайшей точке меньшего цилиндра (в данном случае второго цилиндра, находящегося справа) и вводим такое же значение шага – **0,8 см**.



Смотрим величину шага, отображаемую в **Шаг дискретизации (2 см)**, делим ее на 2,5 и округляем до десятых долей сантиметра.

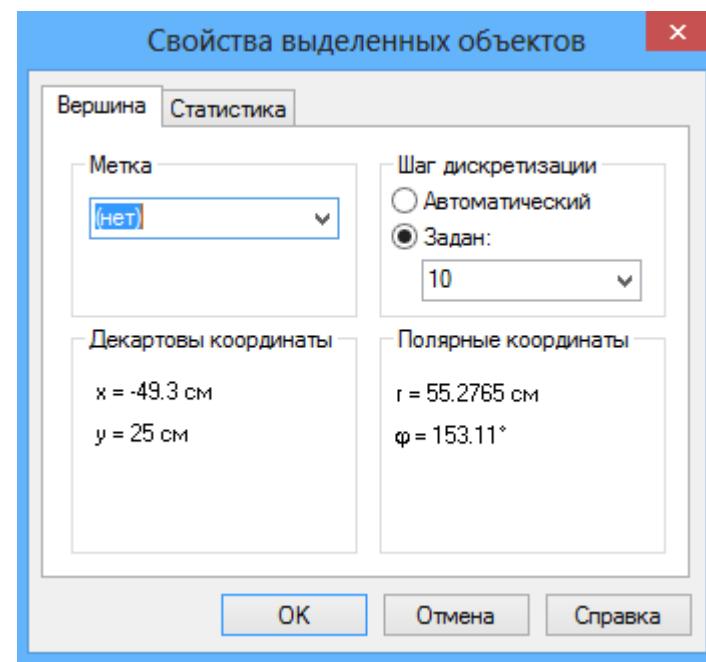


$$\frac{2}{2,5} = 0,8$$

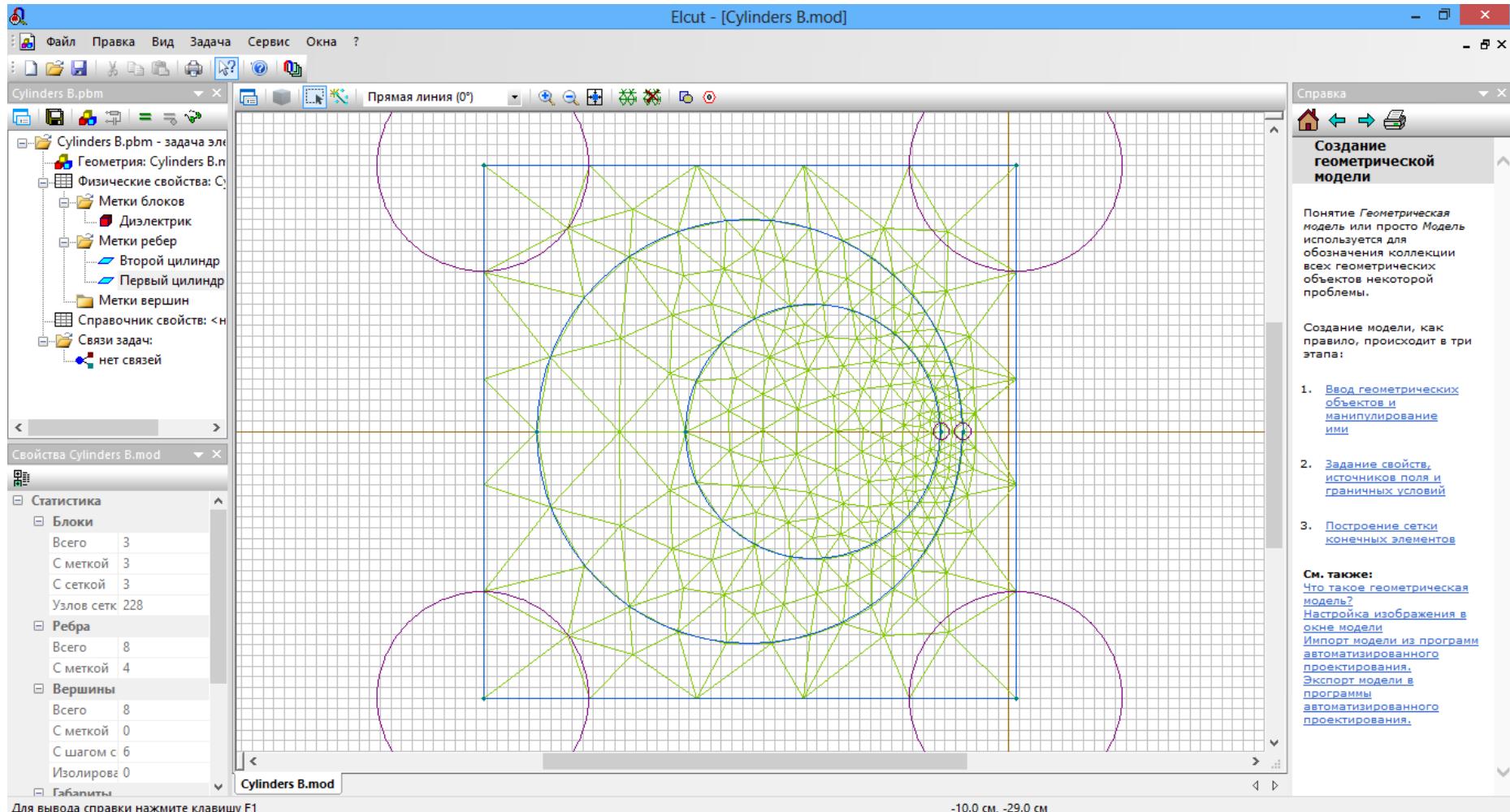
Делаем двойной щелчок по каждой вершине прямоугольника и вводим увеличенное в 12,5 раз ранее введенное значение шага **10 см**.



$$12,5 \cdot 0,8 = 10$$

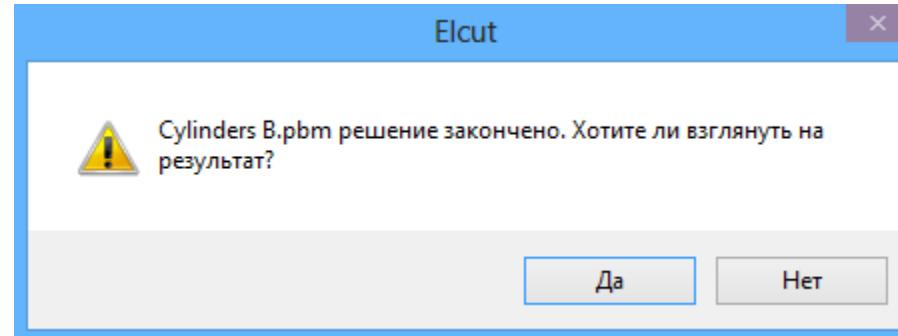
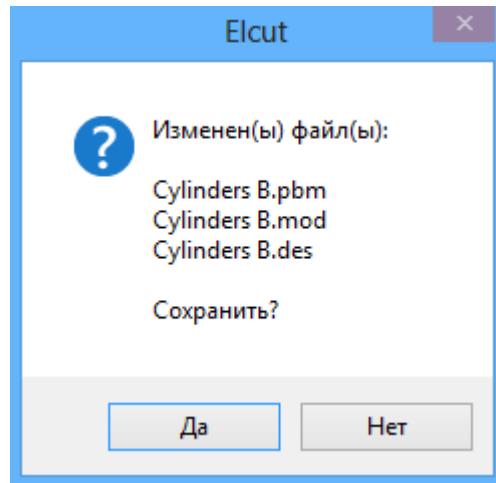
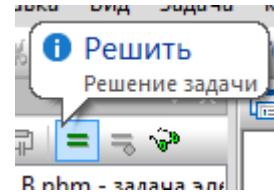


На экране отображается геометрическая модель системы цилиндров с сеткой конечных элементов, густой в областях наиболее сильного электрического поля и разреженной в областях слабого поля.

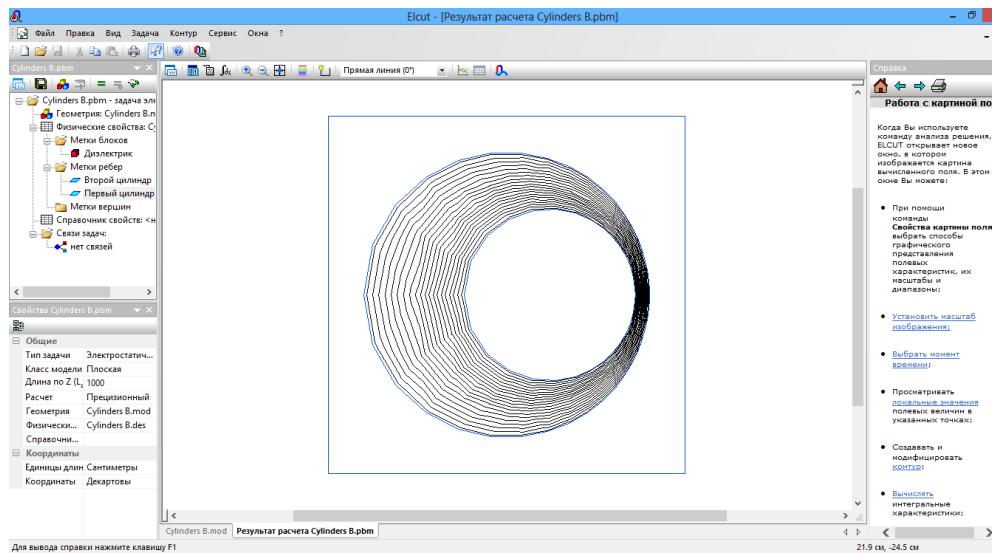


Щелкаем по кнопке **Решить**.

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.

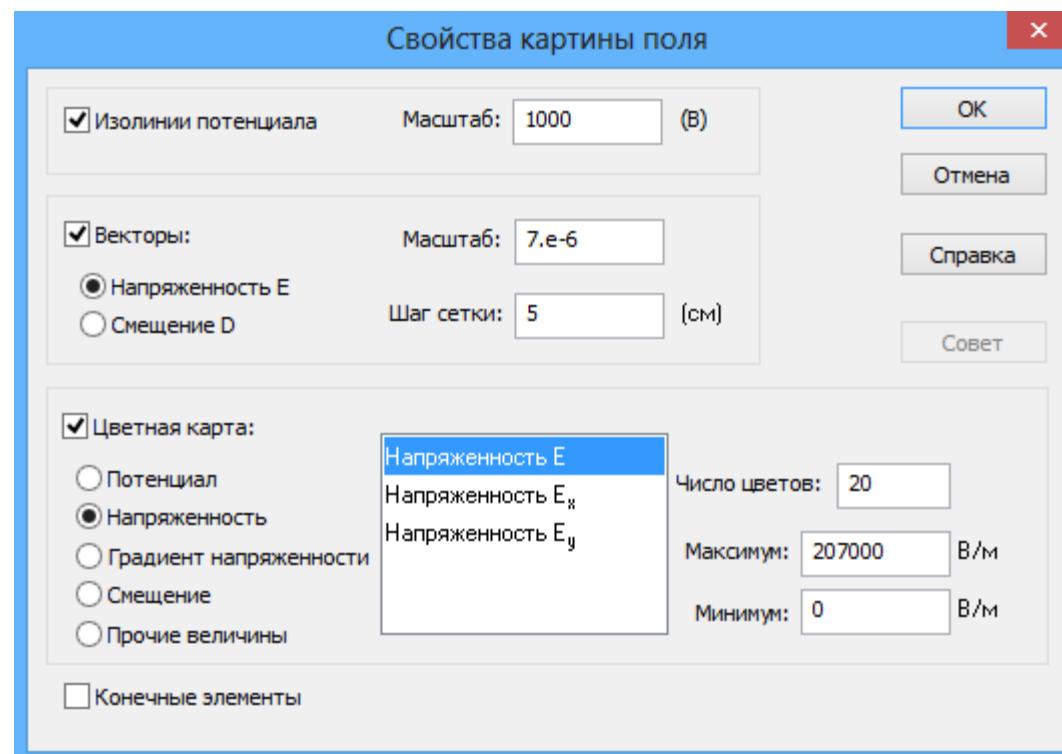
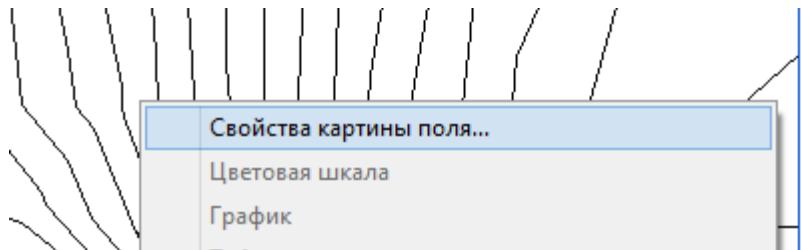


Правой кнопкой щелкаем по картинке и выбираем команду **Свойства картины поля**.

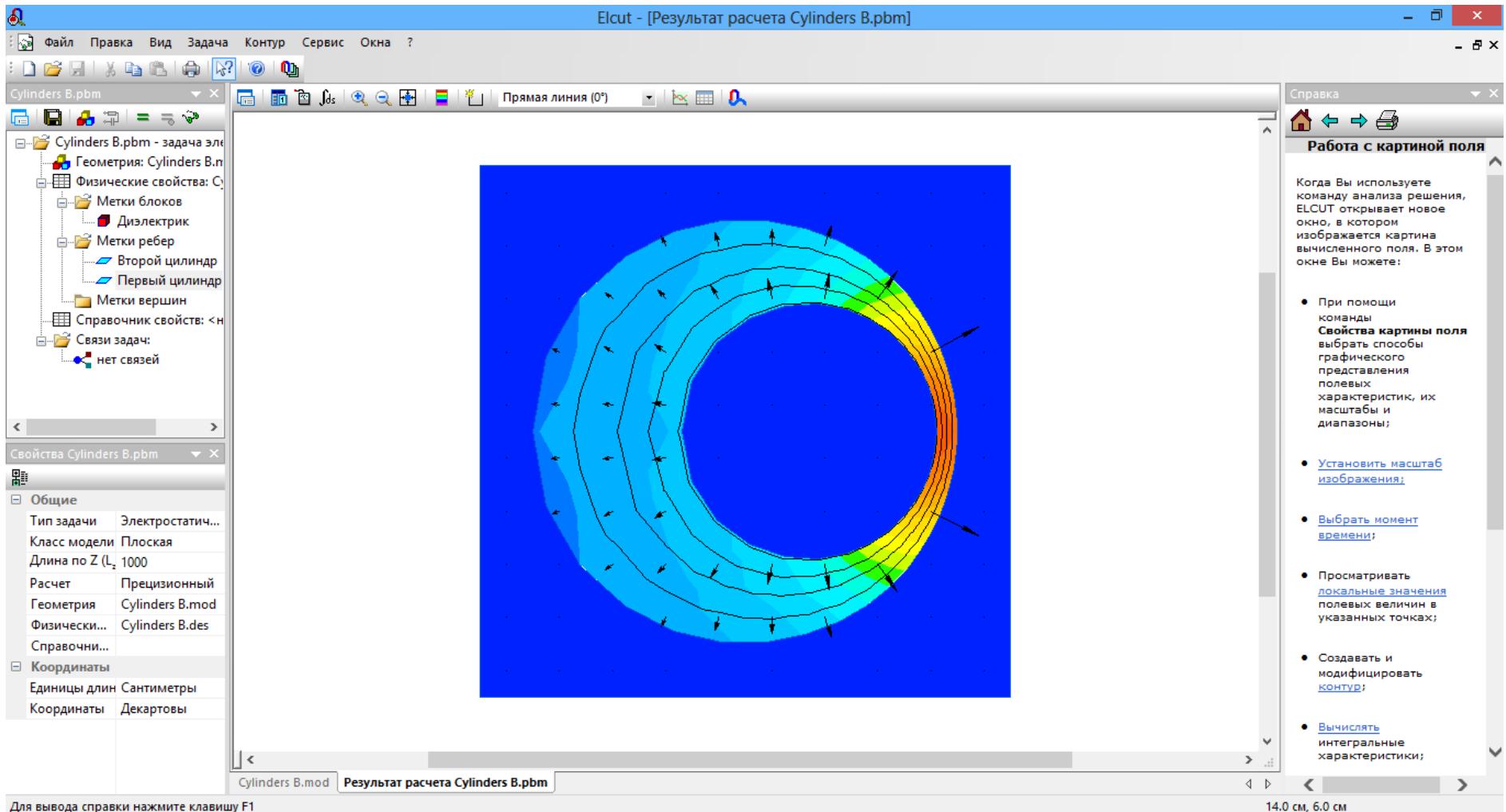
Ставим галочку *Изолинии потенциала* и задаем шаг потенциала, заданный при построении картины поля вручную ($\Delta\varphi \cong \frac{U}{4} = \frac{4000}{4} = 1000$), **Масштаб – 1000**

В. Ставим галочку *Векторы* и выбираем пункт

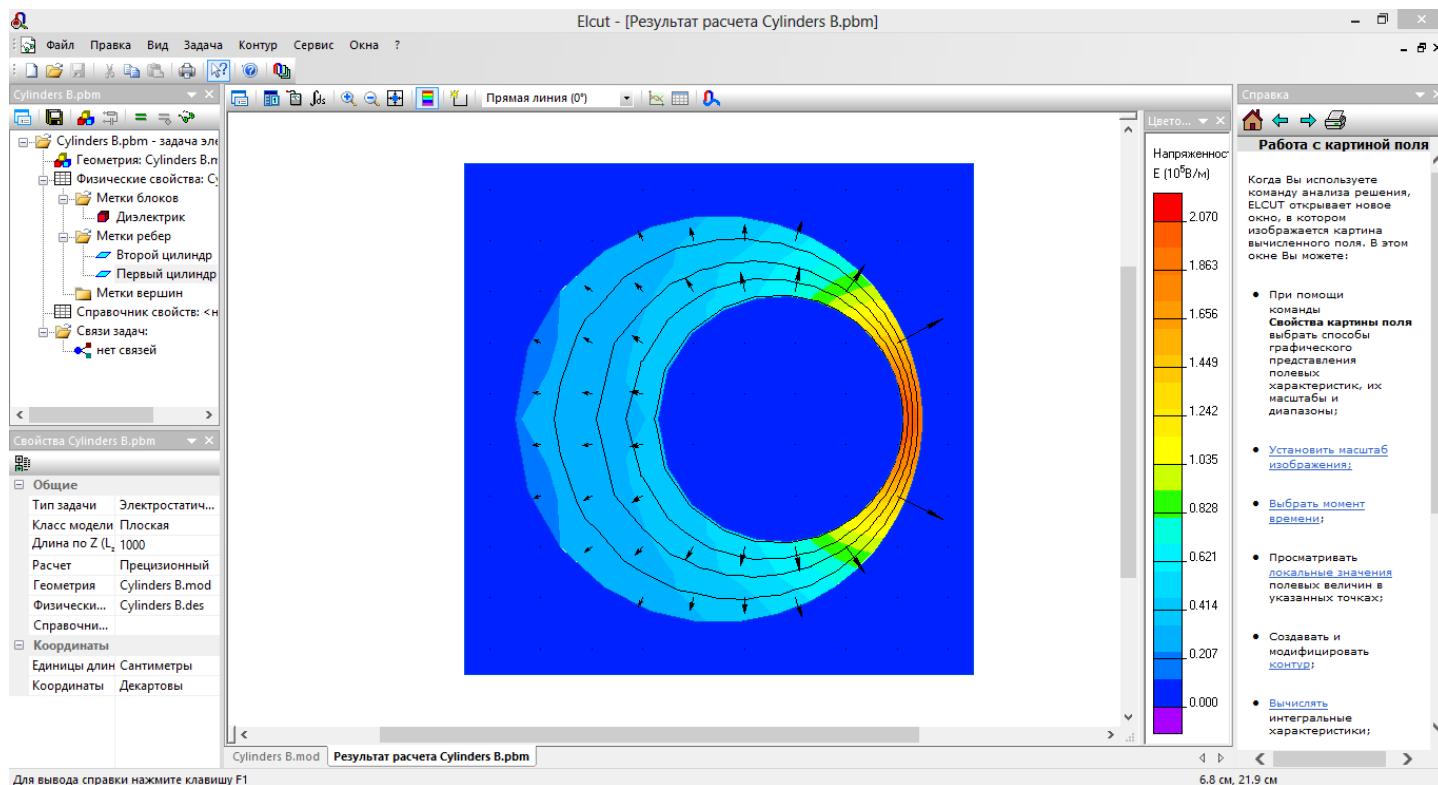
Напряженность Е. Ставим галочку *Цветная карта* и выбираем пункт *Напряженность*. Нажимаем кнопку **OK**.



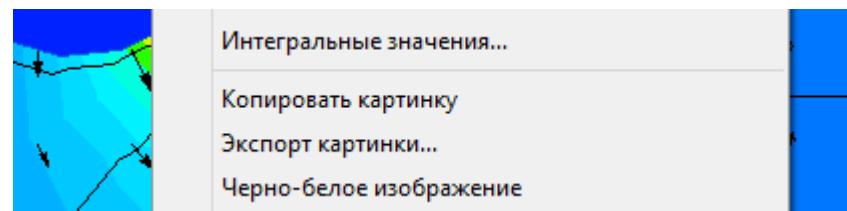
На экране отображается цветная картина поля, в которой цвет кодирует силу электрического поля в данной точке – от синего (наиболее слабого) до красного (наиболее сильного). Сплошные линии – эквипотенциальные линии. Вектора указывают направление силовых линий – от положительно заряженного цилиндра (в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



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 картинки поля появляется цветовая шкала, где оттенкам цветов сопоставлены уровни напряженности поля.

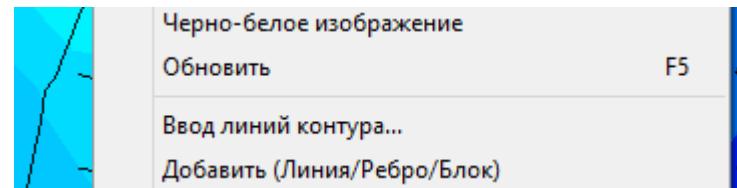


Для копирования картинки поля в буфер обмена или сохранения в виде графического файла щелкаем правой кнопкой мышки по картине поля и выбираем команду **Копировать картинку** или **Экспорт картинки**.

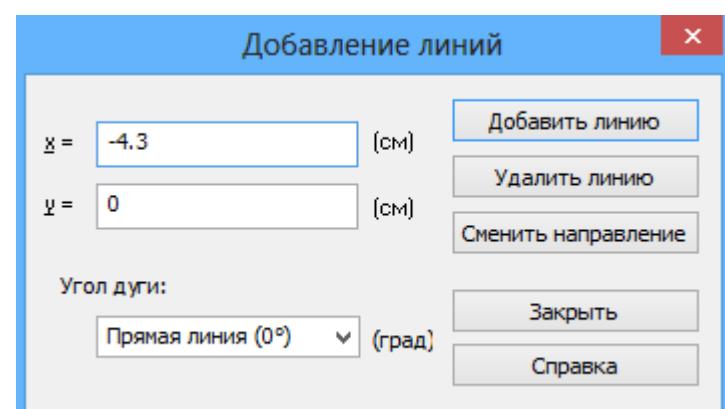
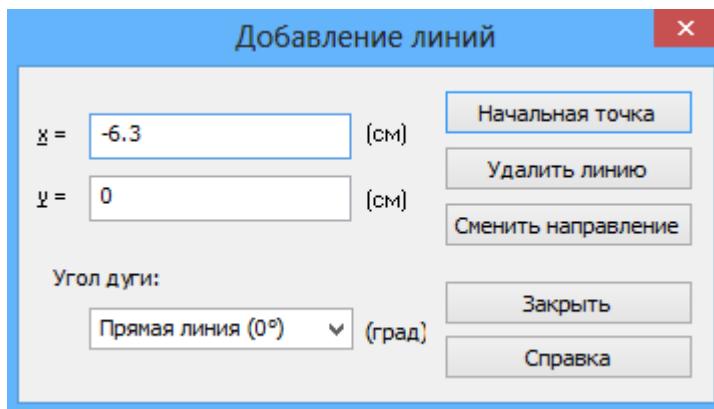


Правой кнопкой щелкаем по картине поля и выбираем команду **Ввод линий контура из** появившегося контекстного меню.

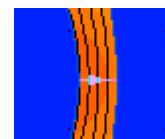
Задаем координату ближайшей ко второму цилинду точки первого цилиндра (меньшего) $x = -6,3$ см (вычисляется как $-(h_1 - R_1) = -(18,3 - 12) = -6,3$). Щелкаем по кнопке **Начальная точка**.



Задаем координату ближайшей к первому цилинду точки второго цилиндра (большего) $x = -4,3$ см (вычисляется как $-(h_2 - R_2) = -(24,3 - 20) = -4,3$). Щелкаем по кнопке **Добавить линию**.

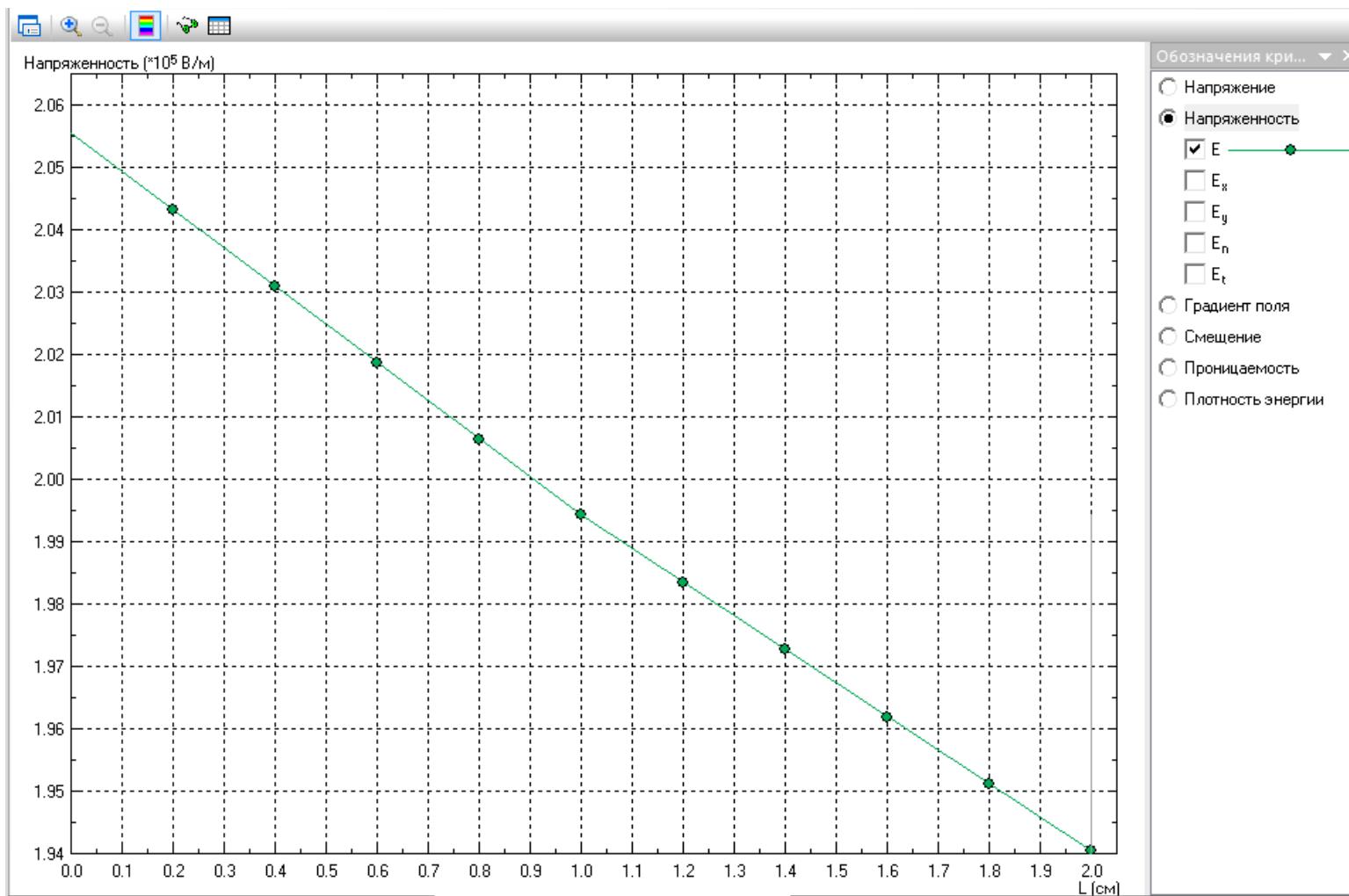
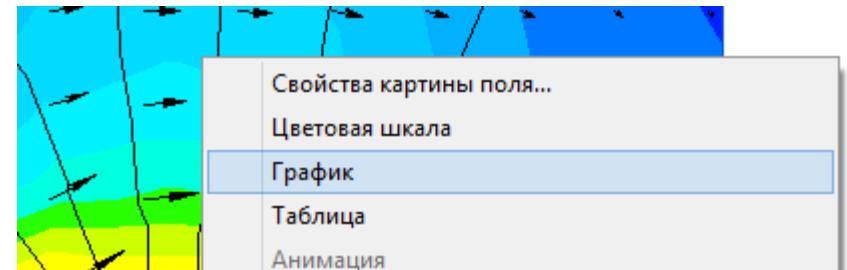


Щелкаем по кнопке **Закрыть**. На картине поля отображается розовая линия, проведенная между ближайшими точками цилиндров со стрелкой, направленной от первого цилиндра ко второму.

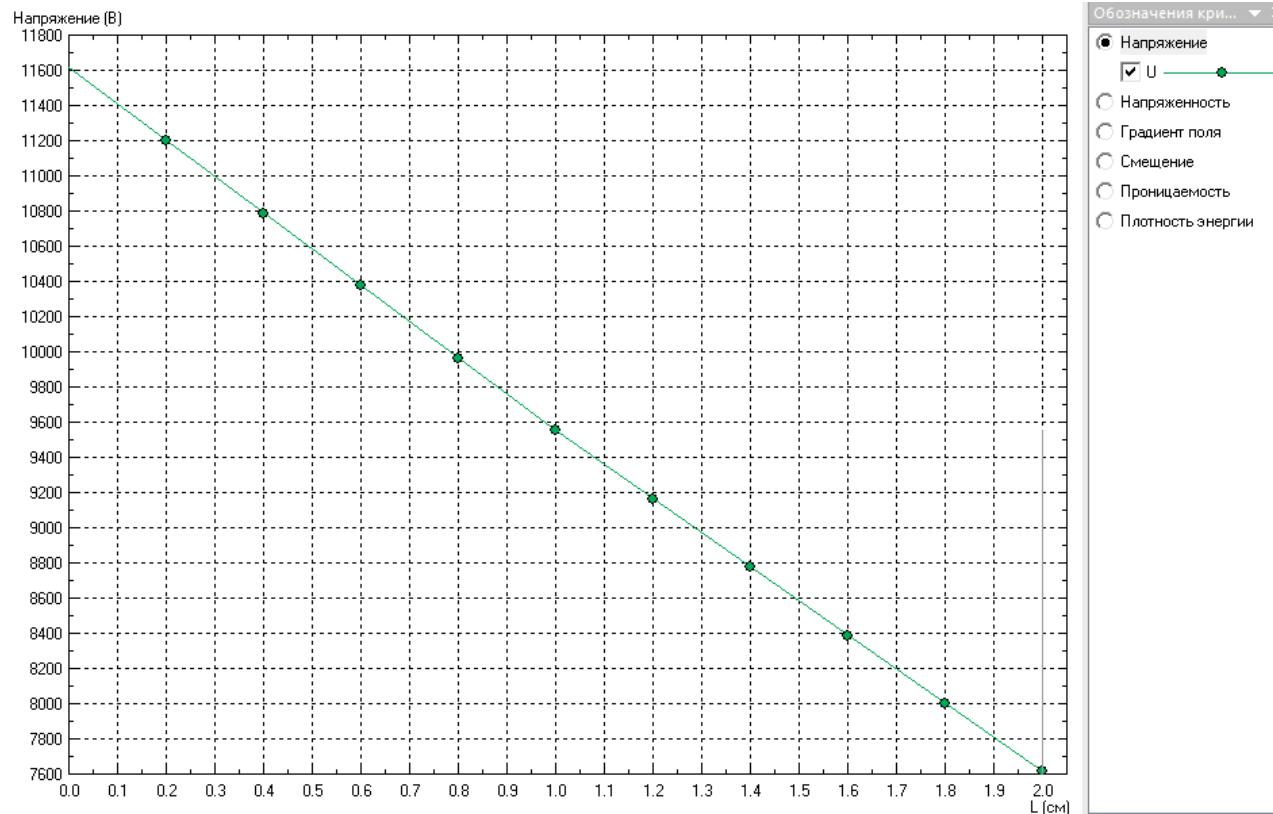


Щелкаем правой кнопкой мышки по картине поля и выбираем команду **График**.

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**.

