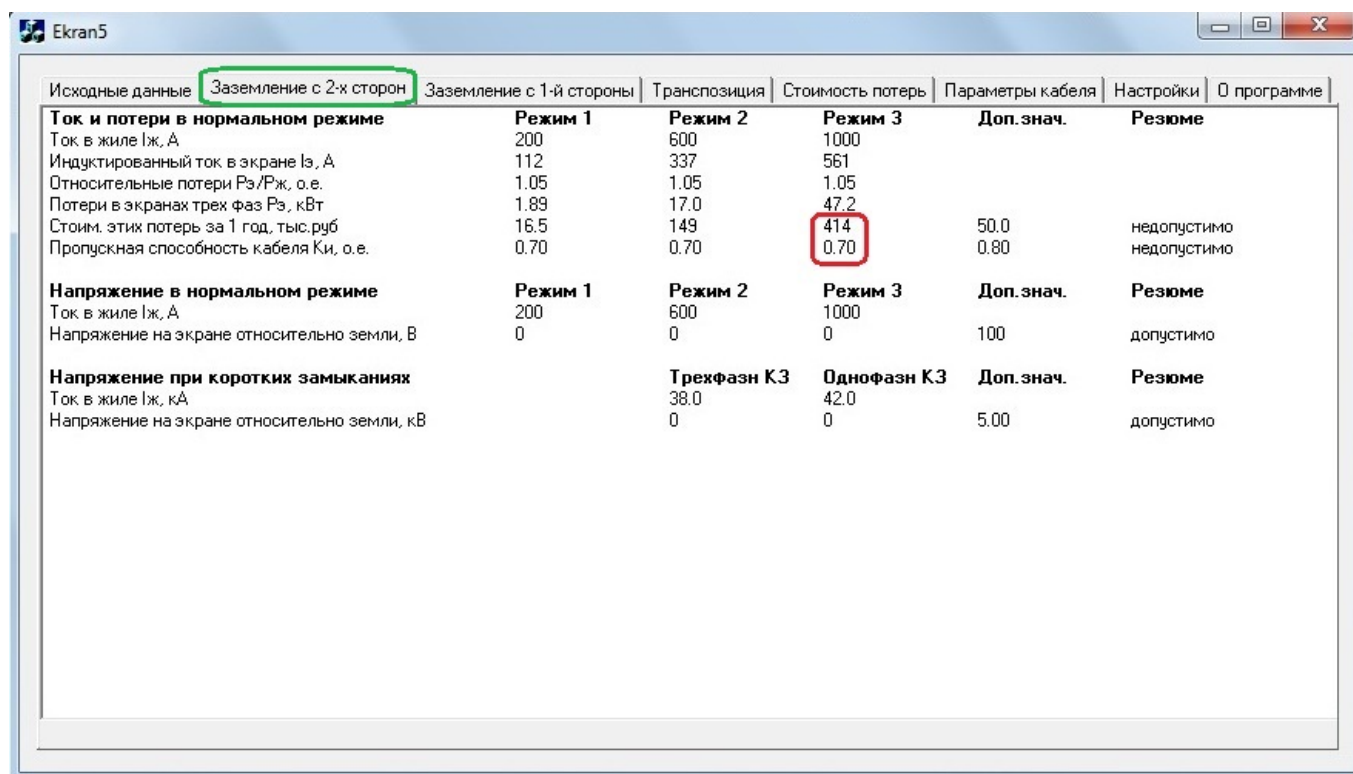


## Выбор схемы заземления экранов кабельной линии 110 кВ длиной 600 м

Работа с программой «ЭКРАН» начинается на листе «Исходные данные», где задаются класс напряжения кабеля, сечение жилы и экрана, их материал (медь или алюминий), длина кабеля, расстояние в свету между соседними фазами, способ взаимного расположения фаз (в треугольник или в ряд). Случаю прокладки фаз сомкнутым треугольником отвечает нулевое расстояние в свету.

Также на листе «Исходные данные» задается информация о классе напряжения сети и способе заземления ее нейтрали, о токах нормального режима и токах короткого замыкания. Что касается токов нормального режима, то программа дает возможность указать сразу несколько значений, в качестве которых, например, можно понимать токи минимального режима (ток 1), среднего режима (ток 2) и номинального режима (ток 3). От величины этих токов линейно зависят наводимые в экранах напряжения и токи, а также квадратично зависят потери в экранах и их стоимость.

После задания исходных данных необходимо нажать кнопку «Расчет» и далее приступить к анализу его результатов.



Исходные данные	Заземление с 2-х сторон	Заземление с 1-й стороны	Транспозиция	Стоимость потерь	Параметры кабеля	Настройки	О программе
<b>Ток и потери в нормальном режиме</b>							
	<b>Режим 1</b>	<b>Режим 2</b>	<b>Режим 3</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , А	200	600	1000				
Индуктированный ток в экране I <sub>э</sub> , А	112	337	561				
Относительные потери P <sub>э</sub> /P <sub>ж</sub> , о.е.	1.05	1.05	1.05				
Потери в экранах трех фаз P <sub>э</sub> , кВт	1.89	17.0	47.2				
Стоим. этих потерь за 1 год, тыс.руб	16.5	149	414	50.0	недопустимо		
Пропускная способность кабеля K <sub>и</sub> , о.е.	0.70	0.70	0.70	0.80	недопустимо		
<b>Напряжение в нормальном режиме</b>							
	<b>Режим 1</b>	<b>Режим 2</b>	<b>Режим 3</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , А	200	600	1000				
Напряжение на экране относительно земли, В	0	0	0	100	допустимо		
<b>Напряжение при коротких замыканиях</b>							
		<b>Трехфазн КЗ</b>	<b>Однофазн КЗ</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , кА		38.0	42.0				
Напряжение на экране относительно земли, кВ		0	0	5.00	допустимо		

Анализ расчетов начинается на листе «Заземление экранов с двух сторон». Внимание надо обратить, прежде всего, на две цифры:

- годовая стоимость потерь в экранах;
- пропускная способность кабеля.

От простого двустороннего заземления экранов следует отказаться в тех случаях, когда годовая стоимость потерь в экранах заметно превосходит 50 тыс. рублей **или** пропускная способность кабеля составляет менее 0.8 о.е.

Как видно, для рассматриваемого кабеля 110 кВ и по одному, и по второму критериям заземление экранов с двух сторон неприемлемо, т.е. надо рассмотреть альтернативные схемы заземления экранов – или заземление с одной стороны или транспозицию экранов.

Длина рассматриваемой кабельной линии 110 кВ составляет всего 600 м, что отвечает одной или двум строительным длинам, т.е. на трассе кабеля или вовсе не будет соединительных муфт, или же будет лишь одна муфта. Такого числа муфт недостаточно для транспозиции экранов, которая требует две муфты, которые делят трассу кабельной линии на три участка примерно равной длины. Поэтому вариант транспозиции экранов можно опустить из рассмотрения.

Итак, для кабельной линии длиной 600 м единственной альтернативной двустороннему заземлению экранов является одностороннее заземление экранов. Рассмотрим его.

Исходные данные	Заземление с 2-х сторон	Заземление с 1-й стороны	Транспозиция	Стоимость потерь	Параметры кабеля	Настройки	О программе
<b>Ток и потери в нормальном режиме</b>							
	<b>Режим 1</b>	<b>Режим 2</b>	<b>Режим 3</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , А	200	600	1000				
Индуктированный ток в экране I <sub>э</sub> , А	0	0	0				
Относительные потери P <sub>э</sub> /P <sub>ж</sub> , о.е.	0	0	0				
Потери в экранах трех фаз P <sub>э</sub> , кВт	0	0	0				
Стоим. этих потерь за 1 год, тыс.руб	0	0	0	50.0	допустимо		
Пропускная способность кабеля K <sub>и</sub> , о.е.	1.0	1.0	1.0	0.80	допустимо		
<b>Напряжение в нормальном режиме</b>							
	<b>Режим 1</b>	<b>Режим 2</b>	<b>Режим 3</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , А	200	600	1000				
Напряжение на экране относительно земли (K=1), В	6.78	20.3	33.9	100	допустимо		
<b>Напряжение при коротких замыканиях</b>							
		<b>Трехфазн КЗ</b>	<b>Однофазн КЗ</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , кА		38.0	42.0				
Напряжение на экране относительно земли (K=1), кВ		1.29	16.7	5.00	недопустимо		

На листе «Заземление экранов с одной стороны» внимание надо обратить на величину наводимого на экран напряжения при однофазном и трехфазном коротком замыкании. Это напряжение не должно превосходить допустимого значения 5 кВ (иногда допускается до 7 кВ).

Также желательно, чтобы наводимое на экран напряжение в нормальном режиме не превосходило 100 В, но это требование является вторичным в сравнении с требованием не допускать превышения 5 кВ при коротких замыканиях.

Как видно, для рассматриваемого кабеля 110 кВ напряжение на экране 16.7 кВ заметно превосходит допустимое значение 5 кВ, и по этой причине одностороннее заземление экранов применять нельзя.

В сетях 110-500 кВ с заземленной нейтралью наибольшее напряжение на экране достигается при однофазном коротком замыкании. При этом наводимое на экран напряжение существенно зависит от параметров земли:

- сопротивления грунта (его величина задается на листе «Настройки»);
- от наличия в земле металлических труб и других коммуникаций (факт их наличия задается на листе «Исходные данные»);
- от глубины залегания коммуникаций (ее величина задается на листе «Настройки»).

Попробуем изменить параметры земли, чтобы понять, возможно ли для кабеля 110 кВ снизить наводимое напряжение 16.7 кВ до приемлемых значений 5-7 кВ.

## Пример №1 работы с программой «ЭКРАН»

Кабель	Сеть
Уном каб, кВ	Уном сети, кВ
110	110
Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Нейтраль сети
800	глухо или эффект заземл
Сечение экрана, мм <sup>2</sup>	Ток норм режима1, А
240	200
Длина кабеля, м	Ток норм режима2, А
600	600
S между краями фаз, м	Ток норм режима3, А
0	1000
Расположение фаз	Ток трехфазн. КЗ, кА
в треугольник	38
Параметры земли	Ток однофазн.КЗ, кА
определяются коммуникациями	42

Как правило, кабельные линии 110 кВ проложены в городах, где в земле много разных коммуникаций. Учтем их, для чего на листе «Исходные данные» меняем вариант «определяются грунтом» на вариант «определяются коммуникациями».

Нажимаем кнопку «Расчет» и переходим на лист «Заземление экранов с 1-й стороны», чтобы оценить, как снизилось напряжение на экране по сравнению с исходной цифрой 16.7 кВ.

Исходные данные	Заземление с 2-х сторон	Заземление с 1-й стороны	Транспозиция	Стоимость потерь	Параметры кабеля	Настройки	О программе
<b>Ток и потери в нормальном режиме</b>							
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , А	200	600	1000	Доп.знач.	<b>Резюме</b>		
Индуктированный ток в экране I <sub>э</sub> , А	0	0	0				
Относительные потери P <sub>э</sub> /P <sub>ж</sub> , о.е.	0	0	0				
Потери в экранах трех фаз P <sub>э</sub> , кВт	0	0	0				
Стоим. этих потерь за 1 год, тыс.руб	0	0	0	50.0	допустимо		
Пропускная способность кабеля K <sub>и</sub> , о.е.	1.0	1.0	1.0	0.80	допустимо		
<b>Напряжение в нормальном режиме</b>							
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , А	200	600	1000	Доп.знач.	<b>Резюме</b>		
Напряжение на экране относительно земли (K=1), В	6.78	20.3	33.9	100	допустимо		
<b>Напряжение при коротких замыканиях</b>							
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , кА		<b>Трехфазн КЗ</b>	<b>Однофазн КЗ</b>	Доп.знач.	<b>Резюме</b>		
Напряжение на экране относительно земли (K=1), кВ		38.0	42.0				
		1.29	5.68	5.00	недопустимо		

Видно, что для рассматриваемого кабеля 110 кВ учет наличия в земле металлических коммуникаций привел к снижению напряжения на экране с 16.7 кВ до 5.68 кВ, т.е. практически до допустимого уровня 5 кВ.

Поскольку никогда нет четкой уверенности в наличии в земле необходимых коммуникаций и их достаточной электропроводности, то коммуникации можно преднамеренно создать – проложить вдоль линии медную шину, связывающую контуры заземления распределительных устройств начала и конца кабельной линии.

The screenshot shows the 'Ekran5' application window with the 'Настройки' (Settings) tab selected. The interface is divided into several sections for parameter input:

- Допустимые значения:**
  - Напряжения в норм. режиме, В: 100
  - Напряжение при коротком замыкании, В: 5000
  - Коэффициент использования  $K_i$ , о.е.: 0.8
  - Стоим. потерь в экранах за 1 год, тыс.руб: 50
  - Срок окупаемости мер борьбы, месяцев: 36
- Разное:**
  - Частота сети, Гц: 50
  - Удельное сопротивление грунта, Ом\*м: 100
  - Глубина заложения коммуникаций, м: 0.5 (highlighted with a red circle)
  - Диэлектрич. проницаемость изоляции, о.е.: 2.4
- Информация по ценам:**
  - Цена потерь, руб. за кВт\*час: 1
  - Цена каждого одностор. заземления, тыс.руб.: 50
  - Цена каждого цикла транспозиции, тыс.руб.: 1000
- Максимальные значения:**
  - Число K односторонне заземл секций: 1
  - Число N полных циклов транспозиции: 1

At the bottom of the window, there are two buttons: 'Расчет' (Calculate) and 'Типовые Настройки' (Default Settings).

Расстояние от преднамеренно проложенной шины до кабельной линии влияет на наводимое напряжение. Для задания этого расстояния на листе «Настройки» следует изменять параметр «Глубина заложения коммуникаций».

По умолчанию глубина заложения коммуникаций считается равной 1 метр – именно для этой цифры было получено наведенное на экран напряжение 5.68 кВ.

Задав 0.5 м вместо 1.0 м и нажав кнопку «Расчет», опять переходим на лист «Заземление экранов с 1-й стороны», чтобы оценить эффект от приближения шины (коммуникаций) к кабельной линии.

## Пример №1 работы с программой «ЭКРАН»

Исходные данные	Заземление с 2-х сторон	Заземление с 1-й стороны	Транспозиция	Стоимость потерь	Параметры кабеля	Настройки	О программе
<b>Ток и потери в нормальном режиме</b>							
	<b>Режим 1</b>	<b>Режим 2</b>	<b>Режим 3</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , А	200	600	1000				
Индуктированный ток в экране I <sub>э</sub> , А	0	0	0				
Относительные потери P <sub>э</sub> /P <sub>ж</sub> , о.е.	0	0	0				
Потери в экранах трех фаз P <sub>э</sub> , кВт	0	0	0				
Стоим. этих потерь за 1 год, тыс.руб	0	0	0	50.0	допустимо		
Пропускная способность кабеля K <sub>и</sub> , о.е.	1.0	1.0	1.0	0.80	допустимо		
<b>Напряжение в нормальном режиме</b>							
	<b>Режим 1</b>	<b>Режим 2</b>	<b>Режим 3</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , А	200	600	1000				
Напряжение на экране относительно земли (K=1), В	6.78	20.3	33.9	100	допустимо		
<b>Напряжение при коротких замыканиях</b>							
		<b>Трехфазн КЗ</b>	<b>Однофазн КЗ</b>	<b>Доп.знач.</b>	<b>Резюме</b>		
Ток в жиле I <sub>ж</sub> , кА		38.0	42.0				
Напряжение на экране относительно земли (K=1), кВ		1.29	4.61	5.00	допустимо		

Видно, что при гарантированном наличии коммуникаций на расстоянии не более 0.5 м от кабельной линии напряжение на экране не превосходит 4.61 кВ и является допустимым.

Для рассмотренной кабельной линии 110 кВ длиной 600 м рекомендуется одностороннее заземление экранов с одновременной прокладкой вдоль кабеля медной шины, которая должна быть расположена на расстоянии не более 0.5 м.