



Диспетчер подтверждает клавишей [Enter] или корректирует данные режима линии предшествовавшие аварии и показания ФИПов, а также собирает схему включения линии Рис. 1.

Затем выбирает режим работы сети в начале и в конце линии, который задается эквивалентным сопротивлениями системы приведенным к шинам в начале и в конце линии. Эти сопротивления рассчитываются заранее для режимов работы линии Рис. 2.

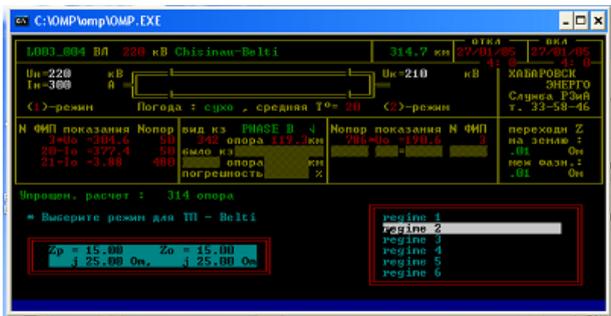


Рис. 2. Выбор режима работы сети в которой работает линия.

После этого программа по номеру линии находит в библиотеке линий заранее рассчитанные передаточные матрицы этой линии на которой произошло повреждение и рассчитывает для введенных модулей напряжений угол сдвига фаз между векторами напряжений в начале и в конце линии соответствующий току нагрузки. При этом сразу проверяется достоверность показаний приборов, так как режим линии соответствующий показаниям приборов может и не существовать.

Далее диспетчер выбирает из таблицы несколько (до 4-х видов повреждений) и запускает проверку достоверности показаний ФИП. Для этого рассчитываются минимальные и максимальные показания ФИП для каждого вида повреждения и выдаются на экран в виде гистограмм. Рис. 3.

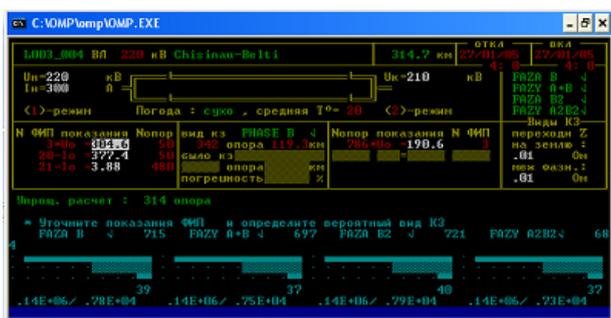


Рис. 3. Проверка показаний ФИП Uo на гистограмме.

Проверка по показаниям ФИП Io позволяет определить какая цепь линии повреждена Рис. 4.

В алгоритме программы предусмотрена возможность повтора расчета с изменением состава и видов повреждений и показаний ФИПов, дающая возможность исключить нереальные показания ФИП Рис.5

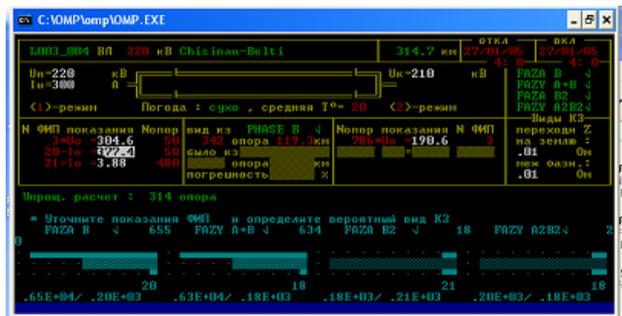


Рис. 4. Проверка показаний ФИП Io на гистограмме.

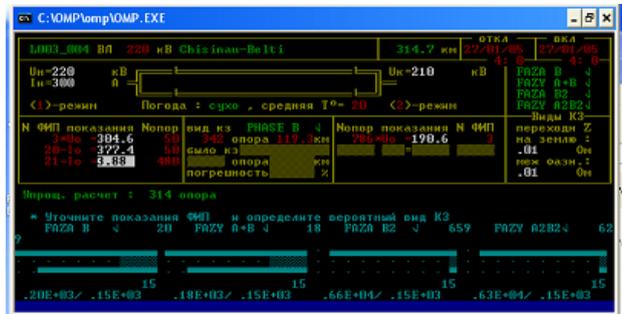


Рис. 5. Проверка показаний ФИП Io второй цепи на гистограмме.

Далее производится поиск места повреждения для каждого показания ФИП в отдельности Рис. 6. путем итераций.

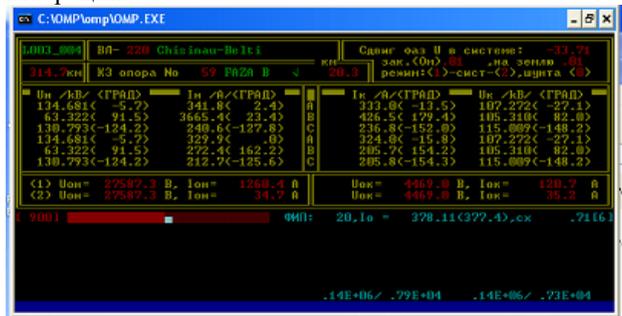


Рис. 6. Отображение процесса расчета.

Используется ускоренный метод Зайделя, который дает хорошие результаты и практически через 5-7 приближений с наперед заданной точности определяет место повреждения.

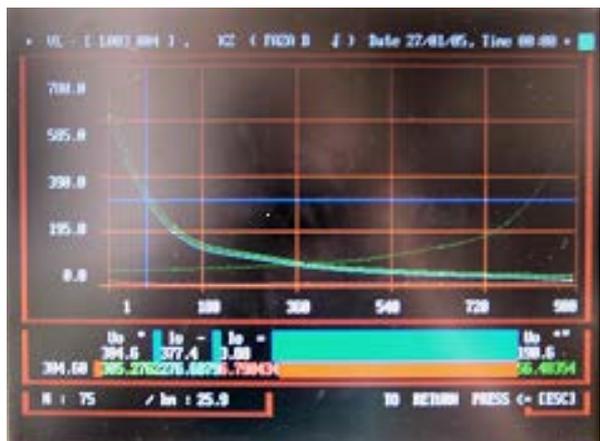


Рис. 7. Отображение диаграммы показаний ФИПов для повреждения выбранного диспетчером.

В результате диспетчер получает на дисплее номера пор против каждого показания ФИП для каждого вида повреждения. Окончательное решение диспетчер принимает после анализа на графике показаний ФИП при повреждении на каждой опоре. Диспетчер имеет возможность менять место повреждения и рассчитывать показания ФИП для этого места, что позволяет окончательно выбрать место повреждения. Рис. 7.

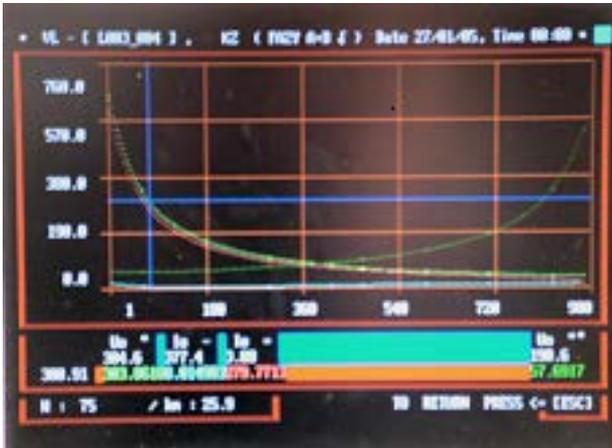


Рис. 8. Отображение диаграммы показаний ФИПов для повреждения выбранного диспетчером

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИНИИ

#### 3.1 Расчет первичных параметров проводов воздушных линий

Программа для расчета параметров модели линии учитывает поперечную и продольную проводимости грунта и позволяет рассчитывать первичные параметры воздушной линии по формулам Карсона [ 1 ] или Полячека [ 2 ].

$$Z = Z_{np} + j\omega 2,9 \cdot 10^{-6} \lg \left( \frac{664}{\sqrt{f} R} \right); \quad (1)$$

$$Z_{12} = j\omega 2,9 \cdot 10^{-6} \lg \left( \frac{664}{\sqrt{f} R} \right).$$

$$Z = Z_{np} + j\omega \frac{\mu_0}{4\pi} \left[ 2 \cdot \ln \frac{2}{1,78 \cdot R \sqrt{\omega \mu_0 \epsilon_0 \delta_3}} + 1 - j \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{3} \cdot \frac{h \cdot \sqrt{\omega \mu_0 \epsilon_0 \delta_3}}{a} \right) \right]; \quad (2)$$

$$Z_{12} = j\omega \frac{\mu_0}{4\pi} \left[ 2 \cdot \ln \frac{2}{1,78 \cdot a_{12} \sqrt{\omega \mu_0 \epsilon_0 \delta_3}} + 1 - j \left( \frac{\pi}{2} + \frac{4}{3} \cdot (h_1 + h_2) \sqrt{\omega \mu_0 \epsilon_0 \delta_3} \right) \right],$$

Где  $Z_{np}$  – комплексное сопротивление провода, Ом/м;  
 $R$  – радиус провода, м;  
 $a_{12}$  – расстояние между проводами, м.

В программу введены данные о высоте подвески проводов фаз линий на опорах Союзтехэнерго. В программе предусмотрена возможность моделирования линии имеющей до 2000 опор. Трехфазных цепей на опорах до 2-х, проводов в фазе до 6-ти, тросов не более 4-х. Предусмотрен учет величины сопротивления заземления опор.

#### 3.2 Расчет передаточных матриц участков линии

На основе матриц первичных параметров линии рассчитываются параметры передаточных матриц участков линии для в пределах которых не меняется

тип опор, марка проводов фаз и тросов, отсутствует транспозиция и не меняется продольное и поперечные параметры грунта [3]:

$$[A_o] = [E] + \sum_{n=1}^{n_{max}} \begin{bmatrix} [z] & [z] \\ [y] & [z] \end{bmatrix}^n \frac{\Delta^n}{n!} \quad (3)$$

Где:  $[E]$  – единичная матрица,  
 $[0]$  – нулевая матрица,  
 $[Z]$  – матрица сопротивлений проводов линии,  
 $[Y]$  – матрица проводимости проводов линии.

### 3.3 Расчет режима линии

Расчет режима линии производится с применением формулы выражающей связь векторов потенциалов и токов проводов в начале линии и в конце.

$$\begin{bmatrix} [\psi] \\ [i] \end{bmatrix}_x = [A_o] \begin{bmatrix} [\psi] \\ [i] \end{bmatrix} \quad (4)$$

Полученной решением известного телеграфного уравнения:

$$-\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} [\psi] \\ [i] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [z] & [z] \\ [y] & [z] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\psi] \\ [i] \end{bmatrix} \quad (5)$$

Передаточные матрицы для всех видов короткого замыкания программа генерирует по желанию оператора.

### 4. ЗАДАЧИ РЕШАЕМЫЕ АРМ-ОМП

АРМ-ОМП дает возможность:

#### Диспетчерской службе:

- определять место повреждения с точностью до одного пролета;
- корректировать и дополнять исходные данные;
- изменять состав фиксирующих приборов, схему включения линий, вид повреждения и т.д.;
- контролировать процесс поиска повреждения, анализировать предварительные и промежуточные результаты расчетов на гистограммах, графиках и в абсолютных величинах;
- регистрировать действия диспетчера по организации восстановительных работ с анализом причин и обстоятельств возникновения повреждения;
- проводить обучение работе с комплексом программ..

#### Службе релейной защиты и автоматики:

- вводить исходные характеристики и параметры элементов воздушной линии: проводов, изоляторов, опор, фиксирующих приборов и т.д.
- проводить расчет первичных параметров воздушных линий электропередачи для всех участков, вплоть до одного пролета;

- проводить расчет параметров аварийного режима по опытным данным повреждений и вносить поправочные коэффициенты для фиксирующих приборов;
- повышать точность определения места повреждения за счет корректировки текущих показаний ФИП на основе аппроксимации до 8-ми показаний ФИП зарегистрированных этим ФИП при повреждениях имевших место ранее на линии и измеренных теми же приборами;
- вести учет повреждений линий, регистрация действий диспетчера по организации восстановительных работ с анализом причин и обстоятельств возникновения повреждения;- проводить анализ эффективности средств релейной защиты и типов фиксирующих приборов.

#### Техническому отделу:

- составлять паспорта линий электропередачи в электронном виде с указанием типов параметров воздушных проводов, изоляторов, опор и т.д. на каждом пролете;
- составление статистических отчетов с выборкой по одной или всем линиям за определенный период.

### 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Результаты эксперимента, проведенного на воздушной высоковольтной линии электропередачи ВЛ-110 кВ Бекетово - Новый Стерлитамак Башкирэнерго в 1994 году, показали, что метод определения места короткого замыкания на линии путем расчета режима короткого замыкания сети (метод Крылова, Институт электродинамики, Киев) менее точен, по сравнению с предлагаемым методом в котором определение места короткого замыкания на линии производится путем расчета режима короткого замыкания линии, представленной в фазных координатах. Режим сети также принимается в расчет, сеть сворачивается и замещается эквивалентными сопротивлениями подключаемыми в местах соединения с линией.

Исходной информацией в обоих методах является параметры режима зарегистрированные приборами, фиксирующими параметры аварийного режима в момент установившегося режима короткого замыкания. Программа Крылова указала на место КЗ в 5-ти км от того места где его в последствии обнаружили. Расчет с помощью программного комплекса АРМ-ОМП дал участок для поиска повреждения длиной 2,3 км на крайней опоре этого участка и было повреждение. Точность определения могла бы быть и выше, если бы была более достоверной информация о режиме линии и сети предшествовавшем повреждению. Тем не менее уже это сравнение дало точность поиска в четыре раза более высокую, чем программа Крылова, так как программа Крылова указала точку без указания в каком направлении от нее надо искать повреждение. В настоящее время устройства фиксирующие параметры режима  $I_0$  или  $U_0$  заменяются на новые современные цифровые аварийные осциллографы регистрации электрических событий РЭС-3

способные зафиксировать всю картину развития повреждения от рабочего режима предшествующего аварии вплоть до отключения. зафиксировав фазные, линейные токи и напряжения. Возросшая точность измерения параметров режима требует повышения точности моделирования линии. Математическая модель линии в фазных координатах, используемая в настоящей программе, хорошо согласуется с параметрами режима линии измеряемыми цифровыми регистраторами, что также будет способствовать повышению точности определения места повреждения

### 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая программа АРМ-ОМП удобна в использовании, позволяет автоматизировать работу служб энергопредприятия.

Программа позволяет без затрат средств на модернизацию приборов ФИП существенно повысить точность определения мест повреждения на воздушных линиях.

Достоинством созданной программы является надежность работы и универсальность, она может работать как с показаниями ФИП старого поколения фиксирующих токи и напряжения нулевой последовательности, так и с современными цифровыми регистраторами..

### ЛИТЕРАТУРА

1. Pollaczek F. Uber den Feld einer unendlich langen wechselstromdurchflossener Einfachleitung // Elekt. Nachr. Tech. 1926, Vol. 9, p. 339.
2. Carson J.R. Wave propagation in overhead wires with ground return//Bell Syst. Tech. J. 1926 Vol. 5, p. 539-554.
- 3 O. Petrov, O.Grimalski. Berechnung der elektrischen Groessen in Oberleitung und Schinen von Wechselstrombahnen. eb 88(1990) 11 K. Oldenburg Verlag s. 400-402

**Олег И. Петров.** Родился в 7.12.49 на ст. Бессарабская, Молдавская ССР. В 1968 году окончил железнодорожно-рожный техникум в г. Одесса, получил специальность: техник-механик тепловозного хозяйства. После службы на флоте с 1970 по 1972 год пом. машиниста локомотивного депо Кишинев. С 1973 по 1978 г. энергодиспетчер Управления Молдавской жд. Без отрыва от производства с 1970 по 1976 год окончил ДИИТ. Защитил диплом на



тему «Управление тяговыми подстанциями переменного тока» на немецком языке. Квалификация: инженер путей сообщения-электромеханик. С 1978 года в Институте энергетики Академии наук Молдавии г. Кишинев, ст. инженер, затем ведущий инженер. С 1986 года мл. научный сотрудник, затем ст. научный сотрудник до 1994 года. В 1984 году подготовил «Технико-экономическое обоснование электрификации Молдавской жд». В 1984 г. окончил 3-мес. курсы в Северодонецком НПО «Импульс» по наладке и ремонту ЭВМ СМ-1. С 1982 по 1985 год аспирант кафедры электрификации жд транспорта МИИТа, научн. рук. профессор, д.т.н. К.Г.Марквардт. В 1987 защитил диссертацию на тему: «Усиление тяговых сетей переменного тока коаксиальным кабелем». С 1989 по 1992 год по договору с Хабаровскэнерго разработал комплекс программ «АРМ - определение места повреждения на

высоковольтных ВЛ электропередачи». С 1994 по 1996 год-коммерческий директор экспедиторской фирмы «Молдоваинтранс». С 1996 по 2004 гл. инженер фирмы “RUMEON” официального импортера концерна VW, Audi и Seat в Р. Молдове.

С конца 2004 года по настоящее время – зав. кафедрой Инженерии и Менеджмента Академии Транспорта Информатики и Коммуникаций (АТИК) Кишинев, Р. Молдова.

Имеет: 16 публикаций, в том числе 3 авторских свидетельства.