



УДК 51-74; 658.512:005

В. И. Гнатюк, С. А. Дорофеев, О. Р. Кивчун**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ОБЪЕКТОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РЕГИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Рассмотрены этапы имитационного моделирования объектов регионального электротехнического комплекса. Обосновано, что различные этапы жизненного цикла агрегатов лучше моделировать с помощью разных подходов. Кроме того, с целью внедрения энергосберегающих технологий целесообразно применять систему непрерывного времени с использованием более сложных математических конструкций (в основном – систем массового обслуживания).

The paper discusses the stages of simulation of large infrastructure projects on the basis of the aggregate method. It is proved that the different stages of the life-cycle units is best modeled using different approaches. In addition, in order to implement energy-saving technologies is advisable to use a system of continuous time using a more complex mathematical structures (mostly-queuing systems).

Ключевые слова: имитационное моделирование, этапы жизненного цикла агрегатов, энергосберегающие технологии, система непрерывного времени, региональный электротехнический комплекс.

Key words: simulation, stages of the life-cycle units, energy-saving technologies, a system of continuous time, regional electrotechnical complex.

В последние годы достаточно интенсивно развивается методология рангового анализа региональных электротехнических комплексов. Как показано автором в [1], имитационное моделирование объектов системы технического обеспечения регионального электротехнического комплекса эффективно осуществлять с помощью агрегатного метода, достаточно хорошо изложенного в работе [2–4].

1. Начало процесса моделирования

В каждый момент времени $\tau \in [0, T]$ агрегат находится в одном из возможных состояний, которое является элементом множества Z (рис.). Состояние агрегата может быть описано с помощью вектора

$$z = (\tau, z_1, z_2, \dots, z_n, P, t),$$

где τ – временная координата; z_1, z_2, \dots, z_n – экзогенные переменные, априорно определяющие структуру агрегата; $n = 1, 2, 3, \dots$ – натуральный ряд; P – вероятность реализации определенного функционального состояния агрегата; t – координата, количественно характеризующая его состояние.



Рис. Схема алгоритма имитационного моделирования процесса функционирования агрегата

Состояние моделируемого агрегата $z(\tau)$ для произвольного момента времени $\tau > \tau_0$ определяется по предыдущему состоянию случайным оператором H , причем

$$z(\tau) = H[z(\tau_0), \tau].$$

Агрегат имеет особые входные контакты, к которым в моменты времени τ_i поступают управляющие сигналы g , являющиеся элементами множества G . Кроме того, агрегат имеет входные контакты, способные воспринимать воздействия внешней инфраструктуры ($x \in X$). На выходе, в свою очередь, образуются выходные сигналы ($y \in Y$), определяемые по его состоянию $z(\tau)$.

С достаточной для целей моделирования общностью любой сигнал, циркулирующий между объектами системы технического обеспечения регионального электротехнического комплекса, описывается с помощью конечного набора характеристик. Так, входной и выходной сигналы можно представить в виде векторов

$$\begin{aligned} x &= (x_1, x_2, \dots, x_n), \\ y &= (y_1, y_2, \dots, y_n). \end{aligned} \quad (1)$$

Выходной сигнал «у» определяется по состоянию агрегата с помощью оператора G , аналогичного по форме H .

Вид оператора H зависит от того, содержит ли рассматриваемый интервал времени особые состояния агрегата, происходящие в моменты получения или выдачи сигнала. Из особых состояний агрегат может пе-



переходить в новое состояние скачком. Если считать, что $z(\tau^*)$ – некоторое особое состояние агрегата, а g_s – последний управляющий сигнал, то состояние агрегата в момент времени $\tau^* + 0$ (непосредственно после скачкообразного изменения состояния) может быть описано с помощью частных форм оператора H :

$$z(\tau^* + 0) = \begin{cases} V'[z(\tau^*), x, g_s], \\ V''[z(\tau^*), g], \\ V[z(\tau^*), x, g], \\ W[z(\tau^*), g_s]. \end{cases} \quad (2)$$

Частная форма оператора H выбирается соответственно, если τ^* – момент поступления в агрегат входного сигнала, поступления управляющего сигнала, одновременного поступления названных сигналов или выдачи выходного сигнала.

В интервалах между особыми состояниями агрегата значение $z(\tau)$ определяется с помощью оператора, вид которого зависит от последнего особого состояния

$$z(\tau) = U_{\tau'}[z(t^* + 0), g_s, \tau].$$

Из множества Z состояний агрегата $z(\tau)$ может быть выделена система подмножеств, обладающая различными свойствами. В ходе имитационного моделирования в качестве временной координаты, как правило, используется модельное время τ_0 , с помощью которого реализуется квазипараллельная работа компонент в общей имитационной модели. При этом корректировка временных координат τ_i нескольких компонент системы осуществляется с помощью модельного времени τ_0 следующим образом [1; 4]. Если значения τ_i при выполнении алгоритмов нескольких компонент совпадают (это означает, что в реальной системе происходит одновременно несколько событий), то алгоритмы, совпадающие по времени выполнения, обслуживаются последовательно. Модельное время τ_0 не меняется до окончания выполнения всех совпадающих по времени алгоритмов. После реализации группы алгоритмов выполняется оператор корректировки временной координаты $M[\tau_i]$, который в большинстве случаев осуществляет вычисление нового значения τ_i по стохастическому, рекуррентному или детерминированному закону.

2. Моделирование групп технических изделий

Автор в [1; 5; 6] предлагает подразделять функционирующие технические изделия (входящие в состав объектов техноценоза) на две группы. К первой относятся элементы, которые помимо реализации определенного функционального состояния (при реализации особого состояния агрегата) характеризуются также и величиной, численно оп-



ределяющей данное состояние. Ко второй группе относятся элементы (как правило, второстепенные), характеризующиеся только фактом скачкообразной реализации функционального состояния.

События, заключающиеся в реализации определенного функционального состояния i -го элемента системы, характеризующегося параметрическим вектором

$$z_i = (\tau^*, z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{ni}, P_i, t_i)$$

при реализации общего состояния, характеризующегося вектором

$$z = (\tau^*, z_1, z_2, \dots, z_n, P, t),$$

62

моделируются с помощью оператора H , который выполняется следующим образом. В начальный момент времени τ_0 в системе задаются начальное состояние агрегата z_0 и начальное значение управляющего сигнала g_0 . Если t_1 и t_2 принципиально различимые меры функционального состояния агрегата в моменты времени τ_1 и τ_2 (где τ_1 и τ_2 — моменты поступления первого и второго входных сигналов, а τ_{12} — момент поступления первого управляющего сигнала, и $\tau_1 < \tau_{12} < \tau_2$), то на полуинтервале (τ_0, τ_1) состояние агрегата изменяется по закону

$$z(\tau) = U_{\tau_0}[z_0, g_0, \tau],$$

где $\tau_0 < \tau \leq \tau_1$, до тех пор, пока не произойдет изменение состояния агрегата и не будет выдан выходной сигнал. Произойдет это в момент τ' , после чего закон изменения состояния агрегата приобретет вид

$$z(\tau'+0) = W[z(\tau'), g_0].$$

3. Определение вероятности изменений состояния агрегата

Определение вероятности P изменения общего состояния агрегата заключается в построении имплицативной схемы системы по вероятностным координатам ее компонент [4; 7]:

$$P = \{P_i\}.$$

В простейшем случае агрегат рассматривается таким образом, чтобы при декомпозиции компоненты в вероятностной схеме системы объединялись в основное соединение последовательно. Тогда вероятность P может быть достаточно просто подсчитана методами теории вероятностей [1; 4; 7].

Вероятность P_i реализации функционального состояния компонент агрегата при воздействии на него совокупности возмущающих факторов, поступающих в модели с входным сигналом, может быть найдена из следующего выражения:



$$P_i = 1 - \prod_j (1 - P_{ij}), \quad (3)$$

где P_{ij} – вероятность реализации функционального состояния i -го элемента под воздействием j -го фактора из пакета входного сигнала x_j .

Следует иметь в виду, во-первых, что выражение (3) – простейшее и описывает последовательную совокупность факторов (в вероятностном смысле). В более сложных схемах воздействия для получения P_i необходимо производить построение импликативной схемы по вероятности P_{ij} , то есть в общем случае

$$P_i = \{P_{ij}\}.$$

Во-вторых, путем соответствующего построения агрегативной схемы и воздействующих факторов можно избежать синергизма факторов входного сигнала [1; 5].

Вероятность P_{ij} в общем случае зависит от закона распределения, по которому происходит возмущающее воздействие. Однако в подавляющем большинстве случаев она может быть аппроксимирована нормальной функцией распределения вида

$$P_{ij} \cong \frac{1}{\sigma_{ij}^d \sqrt{2\pi}} \int_0^{T_{ij}^c} e^{-\frac{(s-T_{ij}^d)^2}{2\sigma_{ij}^2}} ds, \quad (4)$$

где T_{ij}^d , σ_{ij}^d – математическое ожидание и стандарт значения уровня j -го возмущающего фактора применительно к i -му элементу агрегата, которые задаются априорно в комплексе экзогенных переменных; T_{ij}^c – стохастическое значение уровня j -го возмущающего фактора применительно к i -му элементу агрегата, задаваемое в комплексе эндогенных переменных; s – переменная интегрирования. Параметры и переменные в выражении (4) являются координатами вектора входного сигнала, описанного выражениями (1) и (2).

Прежде чем рассматривать дальнейшее изменение состояния агрегата во времени, необходимо проверить, не удовлетворяет ли состояние $z(\tau'+0)$ условиям выдачи выходного сигнала. Если данное условие выполняется, то состояние моделируемого агрегата описывается следующим соотношением:

$$z(\tau'+0+0) = W[z(\tau'+0), g_0] = W\{W[z(\tau'), g_0], g_0\},$$

а в момент времени $\tau'+0+0$ выдается второй выходной сигнал. Вектор выходного сигнала y может формироваться на двух уровнях: на уровне всего агрегата и на уровне компонент. Первый вариант выбирается в том случае, если агрегат состоит из элементов второй группы, для ко-



торых реализуются только определенные функциональные состояния компонент. При этом в качестве выходного сигнала выступает количество реализаций, а также ряд других координат. Вторым вариантом используется в том случае, если агрегат состоит из элементов первой группы, а основу координат выходного сигнала составляют величины, численно выражающие реализовавшееся в процессе моделирования функциональное состояние компонент.

В любом случае факт выдачи выходного сигнала после скачкообразного изменения состояния агрегата определяется с помощью датчиков случайных величин по вероятностям P_i или P_{ij} так:

64

$$\begin{cases} \exists P_i(P_{ij}) \leq \eta \Rightarrow z(\tau' + 0) \notin Z_y, \\ \exists P_i(P_{ij}) > \eta \Rightarrow z(\tau' + 0) \in Z_y, \end{cases} \quad (5)$$

где η — случайное число, равномерно распределенное в интервале от 0 до 1, вырабатываемое датчиком случайных величин. При необходимости оценки математического ожидания количества элементов агрегата i -го типа, реализовавших свое функциональное состояние при изменении состояния всей системы, может быть выполнена рандомизация вида

$$M[N_i] \cong \left(\sum_j \sum_k n_{ijk} \int_0^{r_{\max ij}} P_{ijk}(r) f_{ijk}(r) dr \right) \cdot \xi, \quad (6)$$

где n_{ijk} — количество элементов i -го типа, имеющих k -ю степень сопротивляемости j -му воздействию; $P_{ijk}(r)$ — функция вероятности реализации возмущающего воздействия j -го фактора на i -й элемент, имеющий k -ю степень сопротивляемости, в зависимости от координаты r , нормирующей данное воздействие; $f_{ijk}(r)$ — плотность распределения вероятности $P_{ijk}(r)$; $r_{\max ij}$ — максимальное значение координаты r , нормирующей воздействие j -го фактора на i -й элемент; ξ — коэффициент синергизма [1–4; 8]. Параметры n_{ijk} и $r_{\max ij}$ должны задаваться в совокупности экзогенных переменных системы. Функция $P_{ijk}(r)$ и ее плотность распределения $f_{ijk}(r)$ должны поступать в систему в совокупности координат вектора входного сигнала. Для оценочных и численных расчетов может быть использовано следующее выражение:

$$N_i \cong \xi \cdot \sum_j \sum_k n_{ijk} \sum_f P_{ijf} \cdot P_{ijkf},$$

где P_{ijf} — вероятность воздействия на i -й элемент f -й степени j -го возмущающего фактора; P_{ijkf} — вероятность реализации функционального состояния i -го элемента системы, имеющего k -ю степень сопротивляемости при воздействии на него f -й степени j -го возмущающего фактора.



4. Имитационное моделирование элементов агрегата первой группы

Рассмотрим принципы имитационного моделирования элементов агрегата первой группы, для которых требуется оценка величины, количественно выражающей их функциональное состояние, после реализации особого состояния системы. В общем случае выражение для определения математического ожидания выглядит так:

$$M[t] \cong \xi \cdot \sum_i \sum_j k_{ij} \int_0^{r_{\max ij}} t_{ij}(r) f_{ij}(r) dr, \quad (7)$$

где k_{ij} – комплексный коэффициент сопротивляемости i -го элемента j -му возмущающему воздействию; $t_{ij}(r)$ – функция, характеризующая нормированное координатой r функциональное состояние i -го элемента при реализации j -го возмущающего воздействия.

При имитационном моделировании с помощью кусочно-линейных агрегатов [1–4] пригодны два выражения, каждое из которых соответствует определенной схеме формирования входных сигналов и содержит координаты вектора входного сигнала в виде параметров

$$t \cong \xi \cdot \sum_i \sum_j k_{ij} \sum_f t_{ijf} \cdot P_{ijf}, \quad \text{или} \quad t \cong \xi \cdot \sum_i \sum_j k_{ij} \sum_m P_{ijm} \cdot t_{ijm}^d. \quad (8)$$

В выражении (8) параметры k_{ij} , $r_{\max ij}$, t_{ijf} , P_{ijf} , P_{ijm} , t_{ijm}^d представляют собой экзогенные переменные, поступающие при моделировании в систему с входным сигналом.

Необходимо отметить, что в (6) и (7) при более строгом рассмотрении должен иметь место интеграл вида

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} R(r_1, r_2, \dots, r_n) \cdot f_R(r_1, r_2, \dots, r_n) dr_1 dr_2 \dots dr_n,$$

который значительно упрощается при переходе к полярной системе координат с учетом центральной симметрии и ограничением интегрирования верхним значением нормирующей переменной r . При этом вероятность реализации функционального состояния элемента становится пренебрежимо малой. Наряду с математическим ожиданием может быть вычислен и стандарт искомой величины по известным формулам [7]

$$\sigma[t] \cong \sum_i \sum_j k_{ij} \sqrt{\int_0^{r_{\max ij}} (t_{ij}(r) - M[t])^2 f_{ij}(r) dr},$$

$$\sigma[N_i] \cong \sum_j \sum_k n_{ijk} \sqrt{\int_0^{r_{\max ij}} (P_{ijk}(r) - M[N_i])^2 f_{ijk}(r) dr}.$$

При комплексном моделировании процессов выдачи двух и более выходных сигналов в зависимости от структуры входных сигналов и



особого состояния системы возможны два подхода к определению координат вектора выходного сигнала. В первом случае рассматривается двойной сигнал, в котором первая часть отражает процессы, происходящие с агрегатом при изменении его функционального состояния, а вторая характеризует функциональное состояние i -го элемента агрегата при изменении степени и характера воздействия j -го возмущающего фактора за счет вторичных эффектов, возникающих в системе. При этом параметр, характеризующий новое функциональное состояние системы, может быть определен следующим образом:

$$t_{dij} \cong \sum_m P_{vijm} \cdot P_{nij} \cdot t_{ijm}^d, \quad (9)$$

66

где t_{ijm}^d — детерминированная величина m -й степени, численно характеризующая функциональное состояние i -го элемента под воздействием j -го фактора; P_{vijm} — вероятность возникновения t_{ijm}^d ; P_{nij} — вероятность воздействия j -го возмущающего фактора на i -й элемент.

В выражении (9) параметр t_{ijm}^d поступает из комплекса эндогенных переменных, а P_{vijm} и P_{nij} — из координат вектора входного сигнала. При этом в простейшем случае P_{nij} может приниматься для факторов, воздействующих на агрегат в целом, равной 0 или 1, а для факторов, характеризующихся локальным или избирательным воздействием, может быть определена как отношение величин, характеризующих фиксированную степень чувствительности компоненты агрегата и системы в целом. В данном случае все величины нормируются координатой r .

Во втором подходе рассматривается конечный однородный поток сигналов (s — их количество). В данном случае комплексное воздействие на элементы оценивается с помощью вероятности Q попадания в диапазон их чувствительности определенного числа воздействий. Анализ показывает, что в большинстве случаев правомерным является допущение о пуассоновском характере потока комплексных факторов, так как при этом приблизительно соблюдаются условия ординарности и отсутствия последствия.

Таким образом, вероятность перехода элемента в определенное функциональное состояние в целом может быть определена по зависимости

$$P_q \cong \sum_{s=1}^q ((1 - (1 - P_1)^s) \cdot Q_s),$$

где P_q — вероятность перехода элемента в функциональное состояние при количестве воздействий q ; P_1 — вероятность перехода элемента в функциональное состояние при единичном воздействии; q — общее количество воздействий; Q_s — вероятность попадания в зону чувствительности элемента точно s воздействий. Вероятность Q_s может быть определена по закону Пуассона (в простейшем случае) [7–10]:



$$Q_s = \frac{m^s}{s!} e^{-m}, \quad (10)$$

где m — среднее число воздействий, приходящееся на зону чувствительности элемента системы, которое определяется априорно путем статистической обработки комплекса эндогенных переменных. Выражение (10) является приближенным, основанным на допущении, что $P_j \cong 1 - (1 - P_1)^j$. Точное выражение, учитывающее смешанную вероятностную схему переходов, выглядит следующим образом:

$$P = \sum_{s=1}^q (P_s \cdot Q_s),$$

67

где P_s — вероятность перехода в определенное функциональное состояние элемента при s -кратном воздействии.

Использование выражения (10) для определения Q_s в известном смысле также является не вполне корректным. Очевидно, что в общем случае необходимо использовать биномиальное распределение [7; 9]

$$Q_{q,s} = C_q^s \cdot P_0 \cdot (1 - P_0)^{q-s},$$

где $Q_{q,s}$ — вероятность того, что в зоне чувствительности элемента окажется s воздействий фактора из общего количества q воздействий; C_q^s — число сочетаний из q по s ; P_0 — вероятность того, что при однократном воздействии значение фактора окажется в зоне чувствительности элемента агрегата. Если состояние $z(\tau' + 0)$ не удовлетворяет условиям выдачи выходного сигнала, то дальнейшее состояние агрегата изменяется по следующему закону (при $\tau' < \tau \leq \tau_1$):

$$z(\tau) = U_{\tau'} z(\tau' + 0), \quad g_0, \quad \tau = U_{\tau'} \{W[z(\tau'), g_0], g_0, \tau\}.$$

В режиме непрерывного времени в ходе моделирования процесса функционирования агрегата в промежутке между особыми состояниями (оператор U_{τ}) должен проверяться факт выдачи выходного сигнала. При этом вероятность того, что до момента времени τ сигнал системой не будет выдан, может быть определена из выражения

$$P(\tau) \cong \exp \left(- \sum_i \int_0^{\tau} \lambda_i(v) dv \right). \quad (11)$$

Параметр $\lambda_i(\tau)$ в выражении (11) представляет собой условную плотность вероятности выдачи системой в момент времени τ выходного сигнала при условии, что ранее сигнал не выдавался. Данный параметр при моделировании должен быть задан в комплексе эндогенных переменных.



Заключение

Таким образом, различные этапы жизненного цикла агрегатов лучше моделировать с помощью разных подходов. Процессы замены агрегата при принятии решения о внедрении нового технического изделия, обладающего меньшим электропотреблением, моделируются с помощью зависимости (5), так как факт попадания агрегата в зону принятия решения системой управления — событие достоверное при условии, что решение на уровне внешней системы управления состоялось. Поэтому моделируются здесь только последствия выполнения решения (выдача выходного сигнала). В ходе исследования процессов модернизации агрегата с целью внедрения энергосберегающих технологий моделируется сам факт изменения состояния агрегата [14-16]. При этом целесообразно использовать систему непрерывного времени (в простейшем случае — (11)). Процессы функционирования агрегатов целесообразно моделировать также в системе непрерывного времени, однако с использованием более сложных математических конструкций (в основном — систем массового обслуживания). Различные схемы построения алгоритмов при моделировании агрегативных систем изложены в [1—4; 7—16].

Список литературы

1. Гнатюк В. И., Луценко Д. В. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. М., 2013.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М., 1978.
3. Бусленко В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. М., 1977.
4. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ. М., 1988.
5. Гнатюк В. И., Шейнин А. А. Нормирование электропотребления регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. М., 2012.
6. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов. М., 2005. Вып. 29: Ценологические исследования.
7. Четыркин Е. М., Калихман И. Л. Вероятность и статистика. М., 1982.
8. Хубка В. Теория технических систем. М., 1987.
9. Айвазян С. А. и др. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М., 1989.
10. Королюк В. С., Портенко Н. И. и др. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М., 1985.
11. Гнатюк В. И., Луценко Д. В., Кивчун О. Р., Примак Л. В. Потенцирование в методике управления электропотреблением техноценоза // Механизация строительства. 2014. № 8. С. 19—27.
12. Гнатюк В. И., Луценко Д. В., Кивчун О. Р. и др. Ранговое параметрическое распределение техноценоза на бифуркационном этапе развития // Механизация строительства. 2014. № 10. С. 44—47.
13. Гнатюк В. И., Луценко Д. В., Кивчун О. Р. Методика мониторинга электропотребления электротехнического комплекса Калининградской области // Промышленная энергетика. 2015. № 3. С. 26—35.
14. Гнатюк В. И., Дюндик П. Ю., Дорофеев С. А. Оценка потенциала энергосбережения объектов регионального электротехнического комплекса // Материалы Международного морского форума. Калининград, 2015. С. 506—512.



15. Меркулов А. А., Кивчун О. Р., Урюпин М. Б., Дорофеев С. А. Процедуры методики мониторинга электропотребления регионального электротехнического комплекса // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2014 : тр. XII Международной научной конференции. Калининград, 2014. С. 288 – 292.

16. Дорофеев С. А., Дюндик П. Ю., Меркулов А. А. Трехуровневая структура оценки потенциала энергосбережения техноценоза на основе техноценологического подхода // IV Международный Балтийский морской форум : матер. Международного морского форума. Калининград, 2016. С. 1602 – 1608.

Об авторах

Виктор Иванович Гнатюк – д-р техн. наук, проф., Калининградский технический университет, Калининград.

E-mail: mail@gnatukvi.ru

Олег Романович Кивчун – канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: oleg_kivchun@mail.ru

Сергей Алексеевич Дорофеев – канд. техн. наук, нач. кафедры, Филиал ВУНЦ ВМФ «ВМА», Калининград.

E-mail: oleg_kivchun@mail.ru

About the authors

Prof. Viktor Gnatiyk, Kaliningrad State Technical University.

E-mail: mail@gnatukvi.ru

Dr Oleg Kivchyn, ass. prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: oleg_kivchun@mail.ru

Dr Sergey Dorofeev, ass. prof., MESC MMF «VMF», Kaliningrad.

E-mail: oleg_kivchun@mail.ru

УДК 539.143.539.183

П. С. Кузьменко, А. А. Шпилевой, Е. С. Ягодкина

К ВОПРОСУ О МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Представлен модифицированный способ мониторинга оптического волокна в волоконно-оптических линиях связи, применение которого позволит более точно определять местоположение поврежденного участка, снизить затраты на обслуживание линий, повысить надёжность функционирования волоконно-оптических кабелей в условиях внешних негативных воздействий.