

## О ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000В С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ ПРИ ЗАМЫКАНИИ ДВУХ ФАЗ НА ЗЕМЛЮ В РАЗЛИЧНЫХ ТОЧКАХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Ковалев А.П., Шевченко О.А., Журавель Е.А.

Донецкий национальный технический университет

*On the basis of Marcovskiy occasional processes we suggest one of the possible methods of estimation of electric shock probability with doubled (short) circuit of the phase on the ground in different points of the circuit system. The suggested method differs from the known ones because it takes into account occasional time of protective means location in unoperating condition and also duration of a human touch to the frame of an electric unit. The model of calculations is given.*

Впервые задача оценки вероятности поражения человека электрическим током при замыканиях на землю в различных фазах и точках сети с изолированной нейтралью была поставлена и решена на уровне случайных событий в Макеевском научно-исследовательском институте по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ) [1].

$$q(t) = q_1(t) \cdot q_2(t) \cdot q_3(t) \cdot q_4(t) \cdot q_5(t), \quad (1)$$

где  $q_1(t)$  - вероятность отказа системы защитного отключения (УЗО);

$q_2(t)$  - вероятность замыкания фазы на землю на одном из участков кабельной сети;

$q_3(t)$  - вероятность замыкания на землю в электрооборудовании другой фазы;

$q_4(t)$  - вероятность отказа в срабатывании максимальной токовой защиты (МТЗ);

$q_5(t)$  - вероятность касания человека к корпусу электрооборудования, находящегося между двумя точками замыкания фазы на землю.

В указанной выше работе задача по оценке вероятности поражения человека электрическим током решена с использованием понятий случайного события, что позволило авторам работ учитывать только вероятность появления событий, формирующих поражение человека электрическим током. Нами предлагается решение этой задачи с использованием понятий случайных Марковских процессов, что позволяет кроме вероятности появления событий, формирующих случай поражения человека электрическим током, учитывать и длительность существования каждого события. Это дает возможность выяснить каким образом и в какой степени интервалы времени между проверками УЗО и МТЗ, а также длительность прикосновения человека к корпусам электрооборудования, влияют на вероятность поражения его электрическим током.

В работе [2] впервые были использованы Марковские случайные процессы для оценки систем обеспечения электробезопасности. На основе Марковских случайных процессов в МакНИИ была разработана математическая модель, с помощью которой были исследованы причины возникновения таких событий, как взрыв, пожар, поражение людей электрическим током при эксплуатации электрооборудования [3].

Поражение человека электрическим током при эксплуатации электрооборудования до 1000В в угольных шахтах может произойти при совпадении в пространстве и времени следующих пяти случайных событий [1]: произошел отказ в системе защитного отключения; произошло замыкание фазы на землю (ОЗ) в одной из точек кабельной сети; произошло ОЗ в другой фазе и точке электрооборудования (либо кабельной сети); отказала в срабатывании МТЗ; произошло случайное касание человека к корпусу электрооборудования, находящегося между двумя точками замыкания фазы на землю.

Задача состоит в том, чтобы определить вероятность поражения человека электрическим током  $Q_1(t)$ , если в начальный момент времени элементы системы находились в безопасном состоянии; средний интервал времени до поражения человека электрическим током -  $\tau_1$  и дисперсию этого времени  $\sigma_1^2$ .

При составлении математической модели, описывающей процесс формирования поражения человека электрическим током, примем ряд допущений и положений.

Устройства защиты могут выходить из строя только тогда, когда они находятся в режиме ожидания.

Если к моменту возникновения повреждения в сети, на которое должна реагировать релейная защита, она находилась в исправном состоянии, то маловероятно, чтобы защита вышла из строя находясь в режиме тревоги [4]. После каждого отказа устройства защиты его работоспособность полностью восстанавливается (в шахтном электрооборудовании блоки защит в большинстве своем съемные).

Отказы в схемах УЗО и МТЗ выявляются и устраняются только в результате профилактических проверок. Проверки средств защиты УЗО и МТЗ абсолютно надежны. Поражение человека электрическим током при исправном УЗО – маловероятное событие и поэтому в расчетах не учитывается. Металлические оболочки элек-

трооборудования и кабелей между двумя точками ОЗ считаются опасными независимо от состояния сети заземления.

Под опасным состоянием средств защиты (УЗО, МТЗ) будем понимать их нерабочее состояние (отключены, заглохли и т.д.)

Состояние электрооборудования будем считать безопасным в те периоды его эксплуатации, когда оно не является источником поражения человека электрическим током (нет замыкания фазы на корпус, не ремонтируется электрооборудование без снятия напряжения), и опасным когда является.

Под безопасным состоянием человека будем понимать такое его поведение, когда он не касается ни оболочки, ни тем более токоведущих частей электрооборудования, а за опасное – когда он длительно касается электрооборудования без индивидуальных средств защиты [5].

Обозначим через  $\xi_k(t)$  процесс изменения состояния элемента  $k$ , ( $k = \overline{1,5}$ ). Предположим, что  $\xi_k(t)$  принимает два значения: 0 или 1, если элемент  $k$  находится соответственно в безопасном или опасном состояниях. Что касается статистической природы этих функций предположим следующее: вероятность переходов из безопасного состояния в опасное за промежуток времени  $\Delta t$  равна  $\lambda_k \Delta t + O(\Delta t)$ , где  $O(\Delta t)$  означает, что вероятность появления более одного опасного события в интервале  $(t + \Delta t)$  является величиной высшего порядка малости по сравнению с  $\Delta t$ ; вероятность переходов из опасного состояния в безопасное за время  $\Delta t$  равна  $\mu_k \Delta t + O(\Delta t)$  и не зависит от предшествующего течения процесса  $\xi_k(t)$ .

Величины  $\lambda_k$  и  $\mu_k$  являются параметрами рассматриваемого процесса.

Принятые допущения означают, что  $\xi_k(t)$  можно рассматривать как процесс Маркова с двумя состояниями: 0 (безопасное) и 1 (опасное).

Рассмотрим совокупность процессов  $\xi_k(t)$  как один процесс Маркова  $\xi(t)$  с 32 дискретными состояниями  $e_1(0,0,0,0,0)$ ,  $e_2(1,0,0,0,0)$ , ...,  $e_{32}(1,1,1,1,1)$  и непрерывным временем.

Поражение человека электрическим током наступит в момент встречи процесса  $\xi(t)$  в состоянии 1 т.е.  $\xi_1(t) = 1$ ,  $\xi_2(t) = 1$ ,  $\xi_3(t) = 1$ ,  $\xi_4(t) = 1$ ,  $\xi_5(t) = 1$ .

Выразим вероятность нахождения системы в каждом из 32 состояний через параметры известных процессов  $\xi_1(t)$ ,  $\xi_2(t)$ ,  $\xi_3(t)$ ,  $\xi_4(t)$ ,  $\xi_5(t)$ .

Поведение во времени такой системы полностью определяется матрицей интенсивностей переходов  $P$ , которая для данной задачи имеет вид:

$$P = \left( \begin{array}{cc|cc|cc} & & \lambda_5 & & 0 & 0 \\ & & \lambda_5 & & 0 & 0 \\ & & \cdot & & \cdot & \cdot \\ & \Delta & & 0 & \cdot & \cdot \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & 0 & & \cdot & \cdot \\ & & & & \cdot & \cdot \\ & & & & \cdot & \cdot \\ & & & & \lambda_2 & \cdot \\ & & & & \lambda_1 & \cdot \\ & & & & \lambda_3 & \cdot \\ & & & & \lambda_4 & \cdot \\ & & & & \lambda_5 & \cdot \\ \mu_5 & & & & 0 & \cdot \\ \mu_5 & & & & 0 & \cdot \\ \cdot & & 0 & & \cdot & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot & \cdot \\ 0 & & & \Delta 1 & \cdot & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot & 0 \\ \cdot & & & & \cdot & \lambda_2 \\ \cdot & & & & \cdot & \lambda_1 \\ \cdot & & & & \cdot & \lambda_3 \\ \cdot & & & & 0 & \lambda_4 \\ \mu_5 & & & & 0 & \lambda_4 \\ 0 & 0 \dots 0 & \mu_2 & \mu_1 & \mu_3 & \mu_4 & 0 & 0 \dots 0 & 0 & \alpha_{31} & \lambda_5 \\ 0 & 0 \dots 0 & & & & & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \quad (2)$$

где

$$\Delta = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & \alpha_2 & 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & \lambda_2 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2 & 0 & \alpha_3 & 0 & 0 & \lambda_3 & \lambda_1 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_3 & 0 & 0 & \alpha_4 & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_3 & 0 & \mu_1 & \alpha_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & \lambda_2 \\ 0 & 0 & \mu_3 & \mu_2 & 0 & \alpha_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & \mu_2 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & \alpha_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & \lambda_3 \\ \mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_8 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_1 & \alpha_9 & 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & 0 & \alpha_{10} & 0 & 0 & \lambda_3 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & \mu_3 & 0 & 0 & \alpha_{11} & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & \mu_3 & 0 & \mu_1 & \alpha_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & \mu_3 & \mu_2 & 0 & \alpha_{13} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_4 & 0 & \mu_2 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & \mu_1 & \mu_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{15} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Матрицы  $\Delta$  и  $\Delta^1$  отличаются между собой только элементами главной диагонали. Главная диагональ матрицы  $\Delta^1$  начинается элементом  $\alpha_{16}$ , а заканчивается элементом  $\alpha_{31}$ . Диагональные элементы матриц  $\Delta$  и  $\Delta^1$  определяются, как единица минус сумма элементов соответствующей строки. Например:  $\alpha_1 = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$ ,  $\alpha_2 = 1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$ , ...,  $\alpha_{16} = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_5)$ , ...,  $\alpha_{31} = 1 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \lambda_5)$ .

В матрице (1)  $\lambda_i = \frac{1}{d_i}$ ;  $\mu_i = \frac{1}{d_i}$ ;  $i = \overline{1,5}$ , где

$\overline{d_1}, d_1$  - средний интервал времени между отказами системы защитного отключения и средняя длительность нахождения УЗО в необнаруженном отказавшем состоянии;

$\overline{d_2}, d_2$  - средний интервал времени между появлениями замыкания фазы на землю в кабельной сети участка и средняя длительность его существования;

$\overline{d_3}, d_3$  - средний интервал времени между появлениями замыкания фазы на землю в электрооборудовании участка в другой фазе и средняя длительность его существования;

$\overline{d_4}, d_4$  - средний интервал времени между отказами максимальной токовой защиты и среднее время нахождения ее в необнаруженном отказавшем состоянии;

$\overline{d_5}, d_5$  - средний интервал времени между касаниями человека корпуса электрооборудования и средняя длительность касания.

Вероятность нахождения системы в каждом из 32 возможных состояний можно определить из решения системы уравнений

$$\dot{P}(t) = P(t)A, \quad (4)$$

где  $\dot{P}(t) = [P_i(t)]_{i=1}^{32}$  - вектор строка;  $P(t) = [P_i(t)]_{i=1}^{32}$  - вектор строка;

$A = (P - I)$ , где  $I$  - единичная матрица;  $P$  - матрица интенсивностей переходов (2).

Решение системы уравнений (4) определяется в виде [6]

$$P(t) = P(0) \exp(At), \quad (5)$$

где  $P(0) = (1, 0, 0, \dots, 0)$  - вектор-строка, содержащая начальные условия  $\exp(At) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A^n t^n}{n!}$ .

Используя (4), матрицу (2), находим  $P_{32}(t)$ , т.е. вероятность совпадения в пространстве и времени рассматриваемых пяти случайных процессов в состоянии  $e_{32}(1,1,1,1,1)$ . Вероятность  $P_{32}(t)$  и будет равна вероятности поражения человека электрическим током в течение времени  $t$ .

$$Q_1(t) = P_{32}(t). \quad (6)$$

Значение среднего времени до поражения человека электрическим током  $\tau_1$ , если в начальный момент времени все элементы системы находились в безопасном состоянии, находим из системы уравнений [6]

$$\tau = N \cdot \xi, \quad (7)$$

где  $N = (I - Q)^{-1}$  - фундаментальная матрица;  $Q$  - получается из матрицы интенсивностей переходов  $P$  исключением из нее поглощающего состояния (последней строки и последнего столбца);  $\xi$  - вектор-столбец у которого все элементы равны 1;  $\tau = [\tau]_{i=1}^{31}$  - вектор-столбец.

Дисперсия среднего времени  $\sigma_1^2$  до первого случая поражения человека электрическим током найдем из следующей системы уравнений [5]

$$\sigma^2 = (2N - I) \cdot \tau - \tau_{sq}, \quad (8)$$

где  $\sigma^2 = [\sigma_i^2]_{i=1}^{31}$  и  $\tau_{sq} = [\tau_i^2]_{i=1}^{31}$  - вектор-столбцы.

При выполнении условия  $\tau_1 \cong \sigma_1$  (свойство экспоненциального распределения) функцию распределения времени до первого поражения человека электрическим током, если в начальный момент времени все элементы системы находились в безопасном состоянии, определяется следующим образом

$$Q_1(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}. \quad (9)$$

Интенсивность поражений человека электрическим током

$$H_1 = \frac{1}{\tau_1} \quad (10)$$

В общем случае, когда  $\sigma_1 \neq \tau_1$ , тогда  $P_{32}(t)$  находится из решения системы уравнений (4).

Если известны интервалы времени между проверками средств защитного отключения -  $\theta_1$  и интервал времени между проверками максимальной токовой защиты -  $\theta_4$ , тогда интенсивность нахождения средств защиты в необнаруженном отказавшем состоянии можно определить следующим образом [7]

$$\mu_i = \frac{1}{\theta_i - \frac{1}{\lambda_i} [1 - \exp(-\lambda_i \cdot \theta_i)]}. \quad (11)$$

В тех случаях, когда выполняются условия:  $\lambda_i \leq 100\mu_i$ ; заданы значения  $\theta_1$  и  $\theta_4$ ;  $\theta_i \cdot \lambda_i < 0,1$ ;  $i = 1, 4$  и используя (2), (7), (10) интенсивность поражения человека электрическим током для описанного случая определяется следующим образом:

$$H_1^* \cong \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5 [2(\theta_1^2 \lambda_1 + \theta_4^2 \lambda_4) + \theta_1^2 \theta_4^2 \lambda_1 \lambda_4 (\mu_2 + \mu_3 + \mu_5)]}{4\mu_2 \mu_3 \mu_5}. \quad (12)$$

Пример. В результате наблюдения за состоянием электрооборудования, кабельных сетей и средств защиты на одной из угольных шахт Украины в течении 1999 и 2000 годов были получены следующие исходные данные: средний интервал времени между отказами системы защитного отключения -  $\bar{d}_1 = 782$ ч; средняя длительность нахождения УЗО в необнаруженном отказавшем состоянии -  $\bar{d}_1 = 4,25$ ч; средний интервал времени между появлениями замыканий фазы на землю в кабельной сети участка -  $\bar{d}_2 = 2810$ ч; средняя длительность существования ОЗ в кабельной сети -  $\bar{d}_2 = 3,2$ ч; средний интервал времени между появлениями замыкания на землю в пускателе -  $\bar{d}_3 = 3640$ ч; средняя длительность существования ОЗ в пускателе -  $\bar{d}_3 = 2,8$ ч; средний интервал времени между отказами максимальной токовой защиты -  $\bar{d}_4 = 2352$ ч; средняя длительность существования необнаруженного отказавшего состояния МТЗ -  $\bar{d}_4 = 150$ ч; средняя длительность между прикосновениями человека к корпусу электрооборудования -  $\bar{d}_5 = 0,28$ ч и средняя длительность касания к корпусу (оболочке) пускателя -  $\bar{d}_5 = 0,364$ ч. Значения  $\bar{d}_4, \bar{d}_4, \bar{d}_5, \bar{d}_5$  взяты из [1].

1) Определить средний интервал времени до первого поражения человека электрическим током  $\tau_1$ ; стандарт этого времени  $\sigma_1$ ; вероятность поражения человека электрическим током в течение года  $Q_1(8760)$  и  $q(8760)$ , где  $q_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$ ,  $i = \overline{1,5}$ . 2). Выяснить, как изменится вероятность поражения человека электрическим током  $Q_1(8760)$ , если защитное отключение проверять через  $\Theta_1 = 6$  ч, а максимальную токовую за-

шиту через  $\Theta_4 = 720$  ч. Определить  $H_1$  и  $H_1^*$ . 3). Выяснить, как изменится среднее время до первого поражения человека электрическим током  $\tau_1$  и его стандарт  $\sigma_1$ , а также вероятность поражения человека электрическим током в течение года  $Q_1(8760)$ , если УЗО и МТЗ не проверяется в процессе эксплуатации, т. е. когда  $\mu_1 \rightarrow 0$ ,  $\mu_2 \rightarrow 0$ ,  $\mu_3 \rightarrow 0$ ,  $\mu_4 \rightarrow 0$  и не учитывается длительность прикосновения человека к корпусу пускателя  $\mu_5 \rightarrow 0$ .

Решение. 1). Используя исходные данные примера, систему уравнений (7) и (8), матрицу (2), где  $\lambda_i = \frac{1}{d_i}$ ;  $\mu_i = \frac{1}{d_i}$ ;  $i = \overline{1,5}$ , с помощью ЭВМ находим:  $\tau_1 = \sigma_1 = 4,25 \cdot 10^9$  ч. Из равенства  $\tau_1 = \sigma_1$  следует, что  $Q_1(8760)$  можно находить по формуле (9), т. е.  $Q_1(8760) = 2,06 \cdot 10^{-6}$ . Используя формулу (1), находим  $q(8760) = 0,84861$ . Неучет времени нахождения УЗО и МТЗ в необнаруженном отказавшем состоянии, а также длительности существования замыкания фазы на землю и длительности касания человеком корпуса электрооборудования занижает результат расчетов в  $4,1 \cdot 10^5$  раз  $\left( \frac{q(8760)}{Q_1(8760)} = 411947 \right)$ .

2). Используя формулу (11), исходные данные примера, находим  $\mu_1$  и  $\mu_4$ . При абсолютно надежных проверках защитного отключения  $\theta_1$  максимальное время существования неотключаемого ОЗ будет равно времени нахождения УЗО в необнаруженном отказавшем состоянии, т. е. в этом случае  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ . Подставляя найденные значения  $\mu_i$ ,  $i = \overline{1,4}$  в матрицу (2), используя системы уравнений (7) и (8) с помощью ЭВМ находим: ч. Из этого равенства следует, что вероятность поражения человека электрическим током  $\tau_1 = \sigma_1 = 2,147 \cdot 10^{14}$  можно определить, пользуясь (9), т. е.  $Q_1(8760) = 4,08 \cdot 10^{-11}$ . Используя формулу (10), находим  $H_1 = 4,65 \cdot 10^{-15} \text{ ч}^{-1}$ . Расчет по приближенной формуле (12) в данном случае дает следующую оценку  $H_1^* = 2,69 \cdot 10^{-13} \text{ ч}^{-1}$ .

3). Используя исходные данные примера, матрицу (2), системы уравнений (7) и (8), полагая  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0$ , с помощью ЭВМ находим  $\tau_1 = 5480$  ч,  $\sigma_1 = 3580$  ч. Ввиду того, что  $\tau_1 \neq \sigma_1$ , вероятность поражения человека электрическим током  $P_{32}(t)$  находим, решая систему линейных дифференциальных уравнений (4),  $P_{32}(8760) = Q_1(8760) = 0,84815$ , т. е. практически совпадает со значением  $q(8760) = 0,84861$ , полученным с помощью формулы (1).

Выводы. 1. Формирование процесса поражения человека электрическим током наиболее точно можно описать с помощью марковских случайных процессов с дискретным числом состояний и непрерывным временем. 2. Получены системы уравнений (4), (7), (8), позволяющие определить вероятность поражения человека и основные параметры электробезопасности на участках угольных шахт. 3. Получены формулы, которые позволяют выбирать такие сроки профилактики средств защиты (аппараты от утечек тока на землю, защитное заземление), и задавать их нормы надежности при которых будет обеспечиваться нормируемый уровень электробезопасности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев П. Ф. Разработка и исследование средств и мер обеспечения безопасности применения электрической энергии в угольных шахтах. Доклад о содержании опубликованных работ и изобретений, представляемых на соискание ученой степени доктора технических наук в соответствии с разрешением Президиума ВАК. – М.: МГИ, 1974. – 86 с.
2. Коструба С. И. Математические модели систем обеспечения электробезопасности // Электричество. – 1970. – №9. – С. 29 – 32.
3. Ковалев П. Ф., Коптиков В. П., Ковалев А. П. О критериях оценки эффективности мер и средств обеспечения безопасности применения электрооборудования в шахтах // Безопасность труда в промышленности. – 1972. – №9. – С. 34 – 36.
4. Ковалев А. П., Белоусенко И. В., Муха В. П., Шевченко А. В. О надежности максимальных токовых защит, применяемых в сетях угольных шахт // Электричество. – 1995. – №2. – С. 17 – 20.
5. Ковалев А. П. Оценка степени риска поражения человека электрическим током при эксплуатации оборудования в подземных выработках угольных шахт // Промышленная энергетика. – 1992. – №2. – С. 42 – 45.
6. Кемени Дж., Снел Дж. Конечные цепи Маркова. – М.: Наука, 1970. – 271 с.
7. Ковалев А. П. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов // Электричество. – 1991. – №8. – С. 50 – 55.