

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА МНОЖЕСТВЕ ОБЪЕКТОВ

О.Н. Дробязко

В настоящее время в России созданы предпосылки для массового внедрения устройств защитного отключения по току утечки, позволяющих резко снизить опасность электроустановок.

Внедрение таких устройств потребует значительных затрат. Вместе с тем в настоящее время объемы финансовых средств, позволяющие осуществить указанное внедрение в короткие сроки, выделены быть не могут. В связи с этим следует ожидать, что работы по внедрению устройств защитного отключения будут финансироваться и выполняться поэтапно, в течение нескольких лет.

Предполагается, что финансовые средства будут выделяться поэтапно для некоторых групп объектов, объединяемых в множества по территориальному или функциональному признаку.

Процесс массового внедрения рассматриваемых устройств будет состоять в последовательных заменах существующих систем безопасности на объектах на перспективные системы, включающие устройства защитного отключения. Очередность и время проведения замен в рамках множества объектов в значительной степени произвольны. При этом на одном и том же объекте могут быть созданы различные варианты перспективных систем безопасности электроустановок, отличающихся своей стоимостью и эффективностью.

Различные последовательности создания систем безопасности электроустановок на объектах будут обеспечивать различные уровни безопасности на множестве объектов как в течение периода финансирования работ по созданию систем безопасности, так и по окончании финансирования в период эксплуатации созданной системы безопасности на множестве объектов.

В связи с этим возникает задача определения характеристик процесса создания системы безопасности электроустановок на множестве объектов, обеспечивающего при заданном режиме финансирования максимальное совокупное снижение опасности на этой совокупности объектов. Решение такой задачи создает возможность проведения наиболее эффективной технической политики, направленной на снижение опасности электроустановок.

Необходимым условием решения поставленной задачи является разработка методов, позволяющих произвести количественную оценку эффективности процесса создания систем безопасности электроустановок на множестве объектов.

Для этого необходимо осуществить математическое моделирование такого процесса. При моделировании должна быть учтена как эффективность создания перспективной системы безопасности электроустановок на отдельном объекте, так и совокупная эффективность последовательности созданий таких систем на множестве объектов на протяжении определенных периодов времени.

Данные методы разрабатывались нами на протяжении ряда лет [1–5]. Специфической особенностью этих методов явилось использование при построении модели результатов математического моделирования систем безопасности электроустановок в аспектах электробезопасности и пожаробезопасности на отдельных объектах [6].

В настоящее время построение модели в основном завершено. В данной статье приводятся основные результаты исследования.

Предполагаемый характер моделируемого процесса потребовал предварительной разработки его концептуальной модели, в которой бы четко отражались представления исследователя о моделируемом процессе. Для описания такого процесса оказалось удобным использование понятия «стратегия», применяемого в рамках научного направления «исследование операций».

Исследование операций изучает вопросы выбора решений по организации и управлению целенаправленными процессами-операциями. Под стратегией понимается способ использования средств и ресурсов, направленных на достижение цели операции [7].

Под *стратегией* создания системы безопасности электроустановок на множестве объектов будем понимать последовательность созданий перспективных систем безопасности электроустановок на объектах множества, каждое из которых характеризуется *интервалом времени* создания системы на *определенном* объекте, а также *вариантом* создаваемой системы безопасности, выбираемым из множества возможных систем безопасности, задаваемых по каждому из объектов (при определении стратегии предполагается, что создание систем безопасности электроустановок на множестве объектов осуществляется одной монтажной организацией).

Первый этап построения математической модели стратегии – ее формализация. При формализации времени вводится дискретное модельное время, «моментом» которого являются одни сутки. Задание суток осуществляется либо в форме



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА МНОЖЕСТВЕ ОБЪЕКТОВ

даты, либо номера суток, отсчитываемого от некоторых суток, принимаемых за начальные. Произвольный момент дискретного модельного времени обозначается символом  $s$ .

Для формализованного описания отдельного акта создания перспективной системы безопасности электроустановок на объекте вводятся три характеристики: «интервал времени создания системы безопасности электроустановок (на объекте)», «объект создания системы безопасности» и «номер системы безопасности электроустановок».

Первая («временная») характеристика описывает совокупность суток, в течение которых на объекте создается система безопасности электроустановок. При упрощенном варианте ее задания указывается только дата начала ее создания, при расширенном варианте задания к этой дате добавляется длительность создания системы (выражаемая в сутках).

Вторая («пространственная») характеристика задает объект, на котором создается перспективная система безопасности. При ее задании предварительно осуществляется нумерация объектов натуральными числами. После этого характеристика задается как номер объекта. Для указания произвольного номера объекта используется символ  $m$  ( $m = 1, 2, \dots, M$ ).

Третья («техническая») характеристика задает одну из возможных систем безопасности, которая может быть создана на объекте.

Перечни таких систем предварительно задаются по каждому из объектов и занумеровываются натуральными числами. Рассматриваемая характеристика задается как номер системы.

Для указания произвольного номера используется символ  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) (значения  $K$  для различных объектов могут быть различными). Используется расширенная нумерация систем безопасности, в которой исходной системе на объекте присваивается номер  $k = 0$ .

Введенные характеристики связаны с определенным актом создания (реализации) систем безопасности электроустановок на определенном объекте. Поскольку стратегия определяется как последовательность актов созданий перспективных систем, то для ее описания необходимо указать совокупность характеристик, описывающих все акты созданий систем, реализованных в рамках стратегий. При формальном описании стратегии такие совокупности представляются как структурированные последовательности чисел, имеющие упорядоченность по датам создания систем. Последовательности представляются в виде таблиц или матриц.

При упрощенном варианте задания стратегии используется последовательность троек чисел,

в которых даты создания систем дополнительно перенумеровываются натуральными числами и трактуются как номера (актов) создания систем безопасности электроустановок.

Номер создания системы безопасности может рассматриваться как вспомогательная характеристика стратегии. Будем обозначать произвольное его значение символом  $t$ . Значение номера  $t$  может изменяться в диапазоне  $1 \leq t \leq T$ , где  $T$  – количество объектов, на которых в процессе реализации стратегии установлены перспективные системы безопасности электроустановок.

При реализации стратегии значение  $T$  может быть как равным числу объектов стратегий  $M$ , так и меньшим, чем это число. (Вторая ситуация имеет место в первую очередь при недостатке денежных средств, выделяемых на создание систем безопасности электроустановок на множестве объектов).

С учетом введенных характеристик стратегия (при упрощенном варианте задания) может быть представлена в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1  
Представление стратегии в табличной форме

Номер создания СБЭ	1	2	3	...	$\tau$	...	$T$
Дата создания СБЭ	$s_1$	$s_2$	$s_3$	...	$s_\tau$	...	$s_T$
Номер объекта	$m_1$	$m_2$	$m_3$	...	$m_\tau$	...	$m_T$
Номер СБЭ	$k_1$	$k_2$	$k_3$	...	$k_\tau$	...	$k_T$

Матрица стратегии (при упрощенном варианте задания) имеет вид

$$\text{Str}^T = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & \dots & s_\tau & \dots & s_T \\ m_1 & m_2 & \dots & m_\tau & \dots & m_T \\ k_1 & k_2 & \dots & k_\tau & \dots & k_T \end{bmatrix} \quad (1)$$

При использовании детализированного варианта задания времени создания систем безопасности электроустановок в таблице и матрице вводится дополнительная строка, содержащая длительность их создания.

Стратегия может быть также представлена в графической форме. Для этого вводится трехмерное «пространство» с координатами «дата создания систем безопасности электроустановок», «объект создания» и «номер системы безопасности электроустановок», называемое пространством стратегий. На первой («временной») оси этого пространства указываются даты (номера суток), на второй – номера объектов, на третьей – номера систем безопасности. Каждой установке (при упрощенной форме представления интервалов времени создания систем) соответствует некоторая «точка» этого пространства, имеющая три коор-



динаты – значение даты создания системы, значение номера объекта (на котором создана система) и значение номера перспективной системы безопасности электроустановок, созданной на объекте. С целью повышения наглядности изображения такие точки нумеруются и соединяются прямыми линиями. Примеры графических представлений стратегий приведены в [1–3].

Каждая стратегия характеризуется наборами временных характеристик. При упрощенном описании стратегии таким набором является последовательность дат создания перспективных систем безопасности электроустановок на объектах. Такая последовательность может быть компактно представлена как вектор дат создания перспективных систем безопасности  $S_{стр} = [s_1, s_2, \dots, s_n, \dots, s_T]$ . При детализированном описании характеристики «интервал времени создания системы безопасности электроустановок» рассматривается также и вектор длительностей создания систем безопасности на объектах  $\delta S_{стр} = [\delta s_1, \delta s_2, \dots, \delta s_n, \dots, \delta s_T]$ .

При моделировании стратегий возникает необходимость в задании укрупненных характеристик наборов временных характеристик. С этой целью вводятся временные макрохарактеристики стратегий.

Прежде всего вводится понятие интервала реализации стратегии. Его границы определяется датами первого и последнего создания перспективных систем безопасности электроустановок на множестве объектов, осуществленных в рамках некоторой стратегии:  $\Delta S_{стр} = [s_1; s_T]$ . Количество дней в таком интервале времени определяется разностью величин  $s_T$  и  $s_1$ , являющихся макрохарактеристиками стратегии.

Временные макрохарактеристики стратегии должны быть соотнесены с некоторой последовательностью календарных лет. Это обусловлено тем, что показатели электротравматизма и пожарной опасности определяются по отношению к календарному году, а также тем, что финансовые средства на создание систем безопасности обычно выделяются на год.

Интервал реализации стратегии  $DS_{стр}$  может иметь различные пересечения с последовательностью календарных лет, определяющиеся заданными значениями дат начала и окончания работ по созданию системы безопасности электроустановок на множестве объектов. Обозначим в последовательности календарных лет дату начала первого года символом  $s_n$ , а дату окончания последнего года – символом  $s_k$ .

Введем временную макрохарактеристику стратегии, указывающую количество лет, с которыми пересекается ее интервал реализации. Будем на-

зывать стратегию « $n$ -летней», если ее интервал реализации полностью или частично пересекает  $n$  следующих друг за другом календарных лет. На протяжении рассматриваемых лет по мере реализации стратегии будет происходить процесс поэтапного создания системы безопасности электроустановок на множестве объектов. При этом эффективность системы безопасности будет последовательно увеличиваться за счет «ступенчатого» повышения эффективности ее элементов – систем безопасности электроустановок на отдельных объектах. Назовем совокупность рассматриваемых лет периодом создания систем безопасности электроустановок на множестве объектов.

На протяжении определяемого периода элементы системы безопасности электроустановок на множестве объектов в некоторой последовательности изменяют свое состояние, в связи с чем изменяется и состояние всей системы безопасности на множестве объектов. Поэтому период ее создания может быть также назван периодом динамического состояния этой системы.

Для оценки эффективности стратегии необходимо также учесть длительности периода, в течение которого созданная в результате реализации стратегии система безопасности электроустановок на множестве объектов будет эксплуатироваться без изменения своей эффективности (или своего состояния). Такой период непосредственно следует за периодом создания системы безопасности электроустановок на множестве объектов. Это период эксплуатации систем безопасности электроустановок на множестве объектов. (Строго говоря, в период создания системы безопасности одновременно производится и ее эксплуатация. Однако в это время система изменяет свою эффективность).

Обозначим количество лет в периоде создания системы безопасности электроустановок на множестве объектов символом  $D$ , а количество лет в периоде ее эксплуатации – символом  $L$ . Эти числа также являются макрохарактеристиками стратегии.

Оценка эффективности стратегии должна осуществляться, в общем случае, по отношению к периоду времени, состоящему из двух рассмотренных периодов – периода создания и периода эксплуатации системы безопасности электроустановок на множестве объектов. Определим его как период функционирования системы безопасности электроустановок на множестве объектов. Длительность такого периода при принятых обозначениях составляет  $(D + L)$  лет.

Выделяется разновидность стратегий, у которых длительность периода создания системы



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА МНОЖЕСТВЕ ОБЪЕКТОВ

безопасности  $D$  значительно меньше длительности периода ее эксплуатации  $L$  ( $D \ll L$ ). (На практике это означает, что система безопасности на множестве объектов создается достаточно быстро и длительное время после этого не изменяется.)

Для задания таких стратегий, называемых *одноступенчатыми*, достаточно указывать только номера объектов и номера устанавливаемых на них систем безопасности электроустановок.

Одноступенчатая стратегия может быть представлена в табличной форме двумя способами. Первый из них предусматривает занесение в таблицу данных только по тем объектам, на которых устанавливаются перспективные системы безопасности электроустановок, второй – занесение данных по всем объектам стратегии с использованием расширенной нумерации систем безопасности. При втором способе для задания стратегии используется таблица, имеющая две строки. Столбцы такой таблицы соответствуют номерам всех объектов множества (табл. 2).

Таблица 2

Представление одноступенчатой стратегии в табличной форме

Номер объекта	1	2	3	...	m	...	M
Номер СБЭ	$k_1$	$k_2$	$k_3$	...	$k_r$	...	$k_M$

В матричной форме одноступенчатая стратегия записывается в виде  $M$ -мерного вектора-строки, элементы которого будут упорядочены по номерам объектов:

$$\text{Str}^{\text{одн}} = [k_1, k_2, \dots, k_m, \dots, k_M] \quad (2)$$

Одноступенчатая стратегия также может быть представлена в графической форме. Для ее представления достаточно двух осей – «номер объекта» и «номер системы безопасности электроустановок». В таком двухмерном «пространстве стратегий» каждое создание систем безопаснос-

ти электроустановок на объекте изображается точкой. Для наглядности изображения такие точки целесообразно соединять прямыми линиями. Пример представления одноступенчатой стратегии приведен на рисунке 1.

Задача разработки математической модели стратегии (модели процесса создания системы безопасности электроустановок на множестве объектов) в наиболее общем виде формулируется следующим образом: сформировать модель, позволяющую на основе известных значений показателей эффективности различных систем безопасности электроустановок на объектах (подсчитываемых за год) рассчитывать значения показателей эффективности за период ее функционирования с учетом характеристик реализуемой стратегии создания такой системы.

При разработке математической модели стратегии используется свойство аддитивности опасностей, базирующееся на теореме сложения математических ожиданий. Оно формулируется следующим образом: *опасность, имеющая вероятностную «природу» случайной величины, распределенной по определенному закону в пространстве и во времени, представляет собой «сумму опасностей» той же вероятностной «природы», локализованных в конечном числе подобластей этого пространства и времени.* Такое свойство позволяет подсчитывать опасность электроустановок на множестве объектов за несколько лет на основе «годовых» опасностей, известных на отдельных объектах.

В рамках данной работы одновременно учитываются два вида опасности электроустановок – опасность электропоражений и опасность электропожаров. Свойство аддитивности опасности (выражаемое через математические ожидания случайных величин, описывающих эти опасности) справедливо в рамках каждого из видов опасности.

В целях обеспечения компактности получаемых расчетных выражений предложено рассмат-

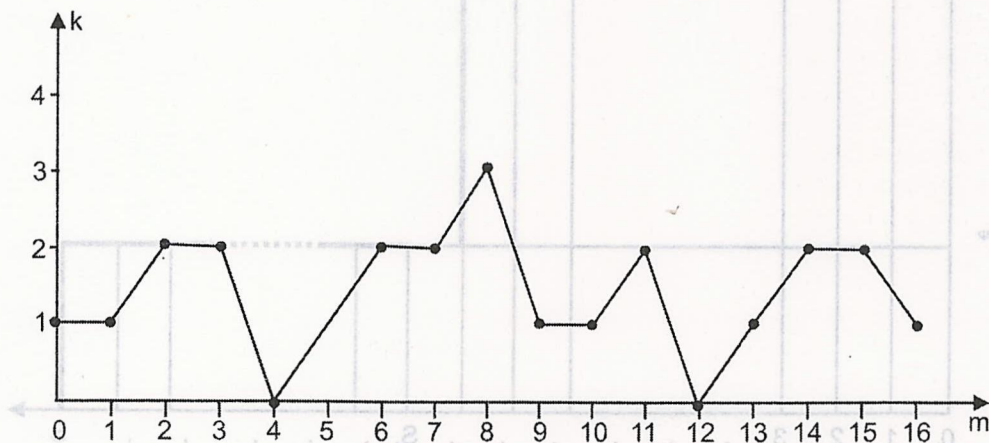


Рис. 1. Пример графического представления одноступенчатой стратегии



ривать электропоражения и электропожары как два возможных вида *проявлений* опасности электроустановок и производить количественную оценку их опасности на основе использования обобщенной случайной величины  $n_{оп}$ , называемой числом проявлений опасности электроустановок.

Основа математической модели стратегии – модель, оценивающая опасность электроустановок на объекте в год создания на нем системы безопасности. При использовании этой модели предполагается, что объект функционирует  $S$  суток в году. Сутки занумерованы натуральными числами ( $s = 1, 2, \dots, S$ ).

Предполагается также, что перспективная система безопасности создается на объекте в течение интервала времени, дата начала которого определяется сутками с номером  $s_c$ , а длительность ее создания равна  $ds$ . Тогда опасность на объекте в год создания системы безопасности электроустановок может быть подсчитана по формуле

$$M[n_{оп}]^c = \sum_{s=1}^{s_c-1} M[n_{оп}]_s^{исх} + \sum_{s=s_c}^S M[n_{оп}]_s^{пер}, \quad (3)$$

где  $M[n_{оп}]_s^{исх}$  и  $M[n_{оп}]_s^{пер}$  – математические ожидания числа проявлений опасности электроустановок за  $s$ -е сутки года на объекте («суточные опасности») для исходной и перспективной систем безопасности.

При равенстве «суточных опасностей» в пределах длительностей функционирования исходной и перспективной систем целесообразно использовать более простую формулу, учитывающую значения годовых математических ожиданий проявлений опасности при различных системах

безопасности  $M[n_{оп}]^{исх}$  и  $M[n_{оп}]^{пер}$ , а также специальных коэффициентов, учитывающих «доли длительностей» функционирования каждой из систем в пределах года.

Введенные формулы могут быть графически проиллюстрированы временными диаграммами опасности электроустановок. По оси абсцисс таких диаграмм откладываются номера суток (или даты), а по оси ординат – значения «суточных» математических ожиданий числа проявлений опасности электроустановок для исходной и перспективной систем безопасности электроустановок (рис. 2).

Диаграмма отвечает случаю равенства «суточных опасностей» в пределах функционирования каждой из систем, длительности создания системы  $ds = 1$  и дате начала создания перспективной системы  $s_c$ . (Предполагается что на протяжении создания систем безопасности его электроустановки не функционируют). При задании координат точек  $A^{исх}$  и  $A^{пер}$  равными  $M[n_{оп}]^{исх} / S$  и  $M[n_{оп}]^{пер} / S$  площадь диаграммы численно равна «годовой опасности» электроустановок объекта.

Диаграмма на рисунке 2 представляет собой одновременное изображение двух диаграмм, отвечающих отдельным аспектам безопасности. Соотношение между верхним и нижним уровнями таких диаграмм будет, в общем случае, различным.

Значительное число объектов АПК имеет сезонный характер работы. Создание систем безопасности на таких объектах может осуществляться как в период их работы, так и в период простоя. Выделяются два «вида сезонности» (с одним и двумя периодами работы в течение года). Для этих случаев выведены специальные формулы, позволяющие подсчитывать опасность электроустановок [2].

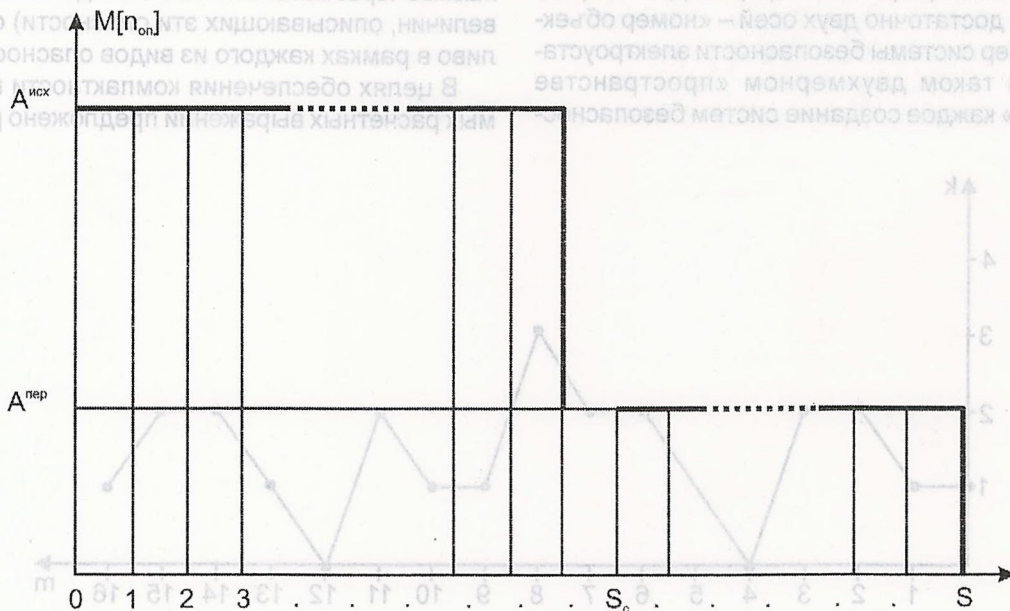


Рис. 2. Диаграмма опасности электроустановок на объекте в год создания системы безопасности



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА МНОЖЕСТВЕ ОБЪЕКТОВ

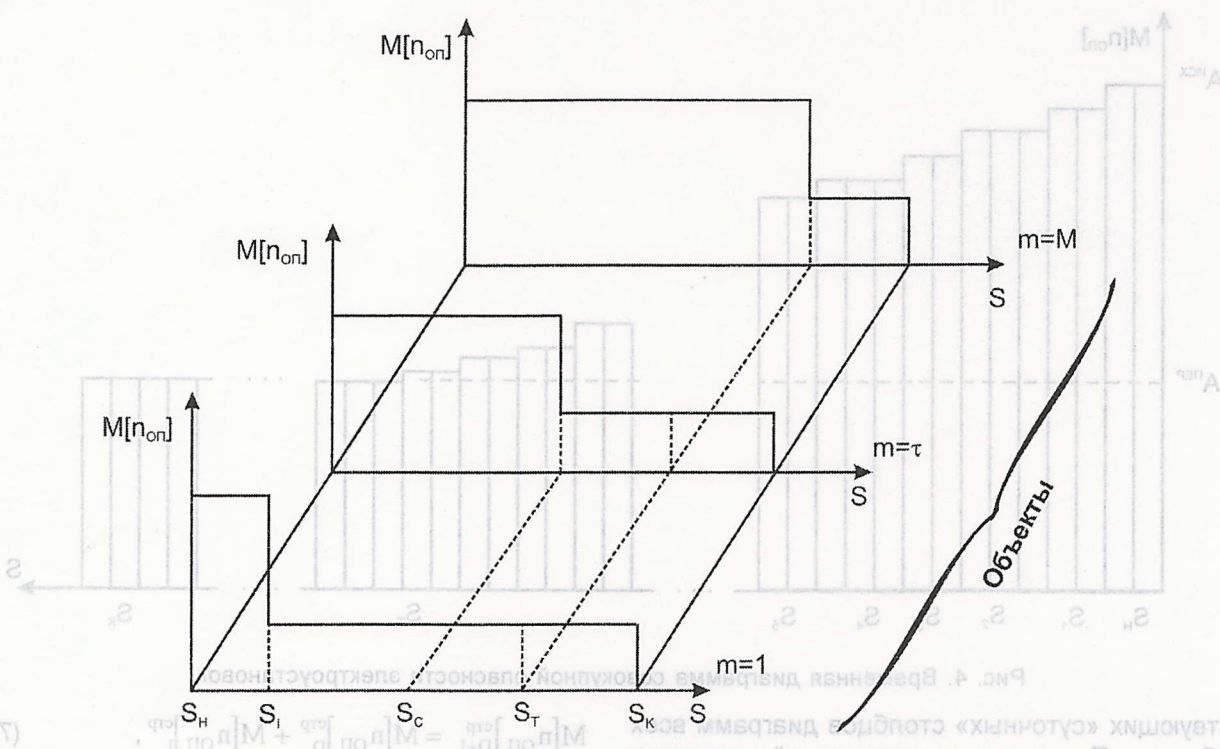


Рис. 3. Трехмерная диаграмма опасности электроустановок

Следующий этап построения модели – подсчет опасности электроустановок за  $D$  лет периода создания системы безопасности электроустановок на множестве объектов.

На этом этапе сначала формируются расчетные выражения для подсчета опасности электроустановок за рассматриваемый период на некотором объекте. Система безопасности объекта, в общем случае, сначала несколько лет находится в исходном состоянии, затем в течение некоторого года изменяет свое состояние, после чего в оставшиеся годы периода находится в новом состоянии, определяющемся функционированием созданной на объекте перспективной системы безопасности электроустановок.

Опасность электроустановок за  $D$  лет периода создания системы безопасности электроустановок (выражаемая в форме математического ожидания числа случаев проявления опасностей) на основе свойства аддитивности опасности (в аспекте времени) может быть представлена в виде суммы

$$M[n_{оп}]^D = \sum_{d=1}^D M[n_{оп}]_d, \quad (4)$$

где в роли слагаемых выступают (в общем случае) несколько величин  $M[n_{оп}]^{исх}$ , величина  $M[n_{оп}]^c$  и несколько величин  $M[n_{оп}]^{пер}$ .

Далее формируются расчетное выражение для оценки опасности электроустановок на множестве объектов за  $D$  лет. При этом используется свойство

аддитивности опасности (в пространственном аспекте). Расчетная формула имеет следующий вид

$$M[n_{оп}]_D^{стр} = \sum_{m=1}^M M[n_{оп}]_m^D, \quad (5)$$

где  $M$  – количество объектов в множестве объектов.

В роли слагаемых в этой формуле выступают математические ожидания случаев проявления опасности электроустановок на  $m$ -ом объекте, подсчитанные на каждом из них за  $D$  лет по формуле (4).

Графическое представление слагаемых в формулах (4) и (5) может быть осуществлено с помощью трехмерной диаграммы опасности электроустановок. На такой диаграмме в одинаковом масштабе приводятся диаграммы опасности на объектах стратегии, отмечены даты начала и окончания периода создания системы, даты первого и последнего создания перспективных систем безопасности электроустановок. Пример такой диаграммы для описания проявлений опасности электроустановок приведен на рисунке 3.

(Для каждого объекта могут быть построены по две диаграммы по каждому из видов опасности.)

Трехмерная диаграмма дает целостное представление о динамике опасности электроустановок на множестве объектов в процессе реализации стратегии. На основе трехмерной диаграммы строится двумерная диаграмма совокупной опасности электроустановок (рис. 4).

Высота каждого «суточного» столбца такой диаграммы определяется суммой высот соответ-



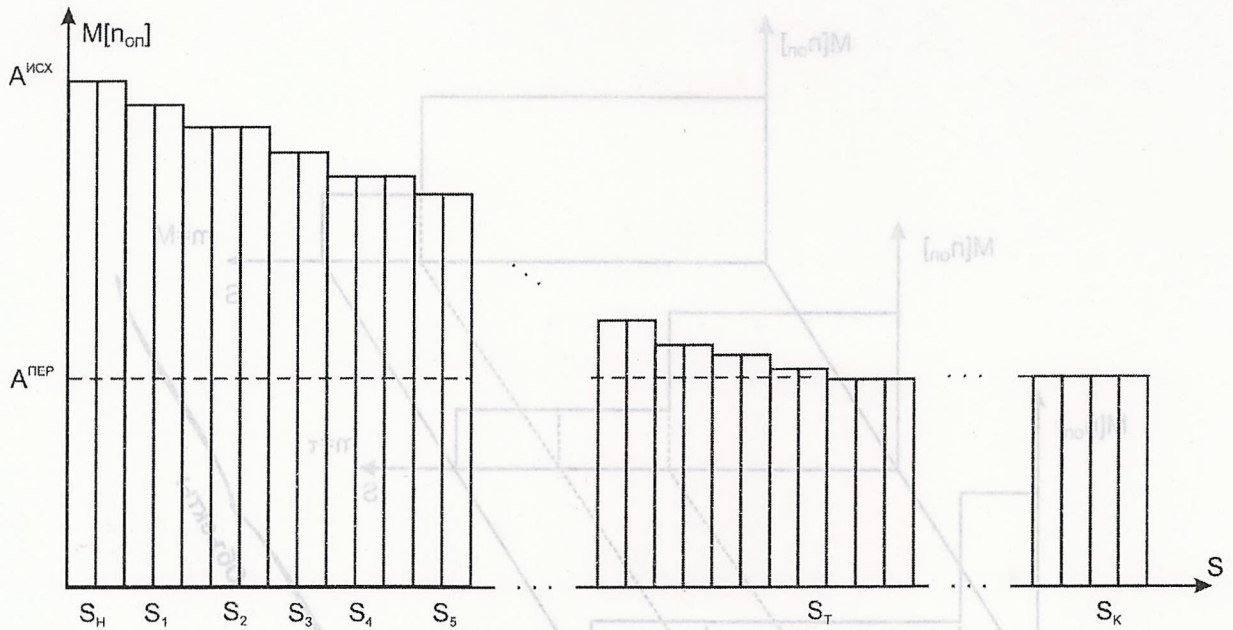


Рис. 4. Временная диаграмма совокупной опасности электроустановок

ствующих «суточных» столбцов диаграмм всех объектов. Площадь рассматриваемой диаграммы численно равна совокупной опасности электроустановок на всем множестве объектов за период создания системы безопасности электроустановок на множестве объектов.

Диаграмма объединяет изображение двух диаграмм для каждого из аспектов безопасности. Соотношения между высотами «ступеней» в этих диаграммах, в общем случае, будут различными.

Произведена оценка эффективности стратегии в период эксплуатации системы безопасности электроустановок, созданной в результате реализации стратегии. При принятии допущения о неизменности опасности электропоражений и электропожаров на объекте для каждого года рассматриваемого периода математическое ожидание числа проявлений опасности электроустановок может быть определено в виде произведения математического ожидания числа проявлений опасности за год, умноженного на  $L$  лет.

Опасность электроустановок за год периода эксплуатации системы на множестве объектов определяется путем суммирования опасностей по всем объектам

$$M[n_{оп}]_M^{пер} = \sum_{m=1}^M M[n_{оп}]_m^{пер} \quad (6)$$

Оценка эффективности стратегии должна осуществляться одновременно на двух периодах стратегии – ее создания и эксплуатации. Поэтому для учета эффективности стратегии на двух периодах (в период функционирования системы безопасности электроустановок на множестве объектов) должен использоваться показатель

$$M[n_{оп}]_{D+L}^{стр} = M[n_{оп}]_D^{стр} + M[n_{оп}]_L^{стр}, \quad (7)$$

где  $M[n_{оп}]_L^{стр}$  – математическое ожидание опасности электроустановок на множестве объектов за период эксплуатации созданной системы безопасности.

Для графической иллюстрации оценки эффективности многолетней стратегии можно использовать двухпериодную временную диаграмму опасностей. Пример такой диаграммы приведен на рисунке 5.

Площадь двухпериодной диаграммы численно равна совокупной опасности стратегии на двух ее характерных периодах. (Как и в предыдущих случаях, диаграмма объединяет изображение двух диаграмм для различных аспектов опасности электроустановок).

Показатели эффективности стратегий могут иметь два вида – абсолютный и относительный. Показатели первого вида оценивают величину «остаточной опасности», имеющей место, в общем случае, в процессе и после внедрения системы безопасности. Показатели второго вида оценивают «степень снижения опасности» электроустановок, обусловленную внедрением системы безопасности.

Показатель первого вида определяется выражением (7). В качестве показателя второго вида используется показатель

$$\delta M[n_{оп}]_{D+L}^{стр} = \left\{ (D + L) \cdot M[n_{оп}]_M^{исх} \right\} / M[n_{оп}]_{D+L}^{стр} \quad (8)$$

Введены показатели эффективности и для одноступенчатых стратегий. Показатель, имеющий



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА МНОЖЕСТВЕ ОБЪЕКТОВ

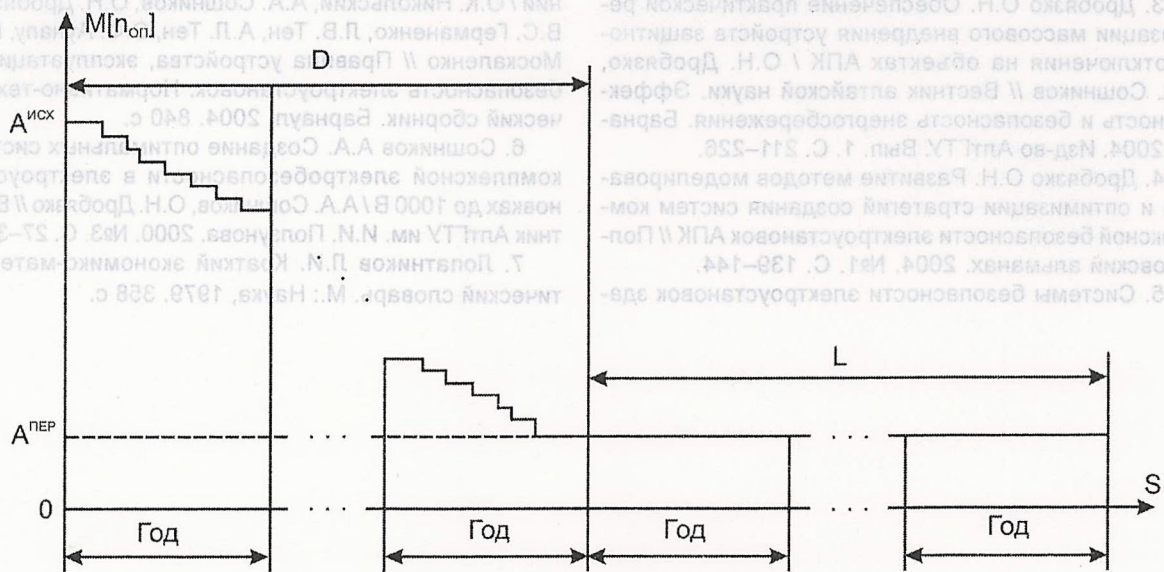


Рис. 5. Двухпериодная временная диаграмма стратегии

абсолютную форму, учитывает опасность электроустановок за  $L$  лет периода эксплуатации или за один год этого периода. Показатель, имеющий относительную форму, представляет собой «отношение опасностей» электроустановок на множестве объектов для года, непосредственно предшествующему созданию системы безопасности, и любого года периода эксплуатации системы.

Временная диаграмма для одноступенчатой стратегии будет представлять собой частный случай двухпериодной временной диаграммы при  $D = 0$  (совокупность вертикального отрезка прямой длины  $A_{исх}$  и прямоугольной части, отвечающей периоду эксплуатации).

Разработанная модель представлена в аналитической форме. При ее практическом использовании должен быть построен моделирующий алгоритм, предусматривающий подсчет значений показателей эффективности стратегии (показате-

лей эффективности системы безопасности электроустановок на множестве объектов) на основании заданных характеристик стратегии (макрохарактеристик и данных, содержащихся в матрице стратегии), а также предварительно вычисленных значения показателей эффективности исходных и возможных перспективных систем безопасности электроустановок на объектах (рис. 6).

## Литература

1. Сошников А.А. Выбор оптимальных стратегий создания систем комплексной безопасности электроустановок на объектах АПК / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко // Вестник Алтайского научного центра Сибирской академии наук высшей школы. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002. №5. С. 58–65.
2. Дробязко О.Н. Выбор оптимальных стратегий создания систем комплексной безопасности электроустановок АПК / О.Н. Дробязко, А.А. Сошников // Вестник АлтГТУ. 2003. №1. С. 40–46.

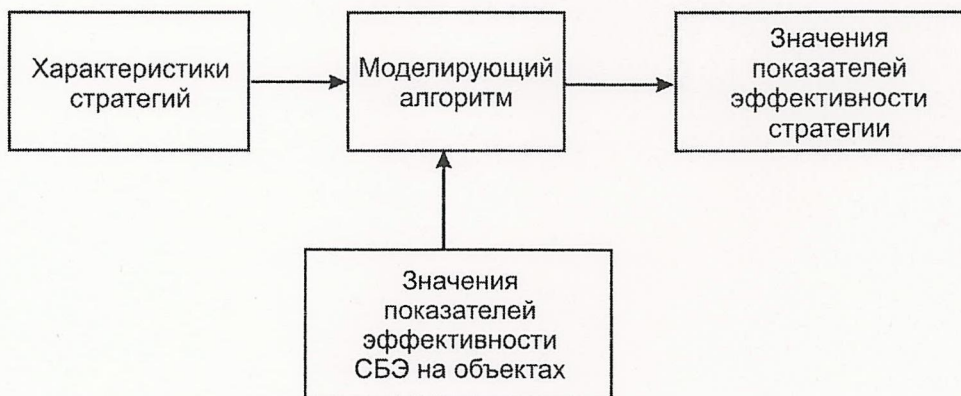


Рис. 6. Общий вид моделирующего алгоритма



3. Дробязко О.Н. Обеспечение практической реализации массового внедрения устройств защитного отключения на объектах АПК / О.Н. Дробязко, А.А. Сошников // Вестник алтайской науки. Эффективность и безопасность энергосбережения. Барнаул, 2004. Изд-во АлтГТУ. Вып. 1. С. 211–226.

4. Дробязко О.Н. Развитие методов моделирования и оптимизации стратегий создания систем комплексной безопасности электроустановок АПК // Ползуновский альманах. 2004. №1. С. 139–144.

5. Системы безопасности электроустановок зда-

ний / О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, В.С. Германенко, Л.В. Тен, А.Л. Тен, Э.Ф. Аунапу, Г.Н. Москаленко // Правила устройства, эксплуатация и безопасность электроустановок: Нормативно-технический сборник. Барнаул, 2004. 840 с.

6. Сошников А.А. Создание оптимальных систем комплексной электробезопасности в электроустановках до 1000 В/А. Сошников, О.Н. Дробязко // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. 2000. №3. С. 27–36.

7. Лопатников Л.И. Краткий экономико-математический словарь. М.: Наука, 1979. 358 с.

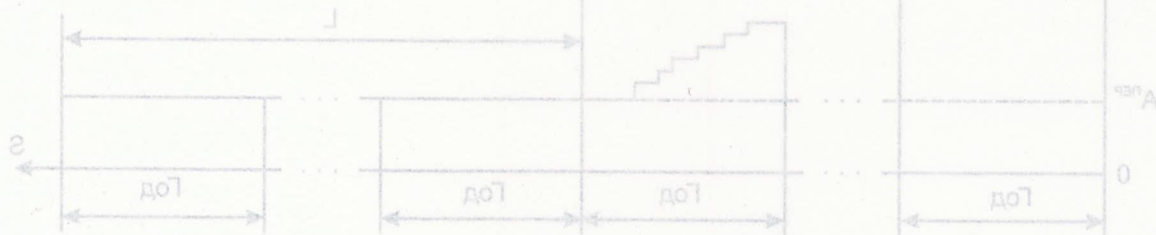


Рис. 5. Длительность импульсов в зависимости от времени

...т-тлеп нтсонэповсэд йонсэвпмпко мэтсэ йнадеор  
 рутэновек на объектах АПК / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко // Вестник алтайской науки. Эффективность и безопасность энергосбережения. Барнаул, 2004. Изд-во АлтГТУ. Вып. 1. С. 211–226.

...т-тлеп нтсонэповсэд йонсэвпмпко мэтсэ йнадеор  
 рутэновек на объектах АПК / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко // Вестник алтайской науки. Эффективность и безопасность энергосбережения. Барнаул, 2004. Изд-во АлтГТУ. Вып. 1. С. 211–226.

Экономическая эффективность

1. Сошников А.А. Разработка комплексной системы безопасности электроустановок АПК / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко // Вестник алтайской науки. Эффективность и безопасность энергосбережения. Барнаул, 2004. Изд-во АлтГТУ. Вып. 1. С. 211–226.

2. Дробязко О.Н. Разработка оптимальных систем комплексной безопасности электроустановок АПК / О.Н. Дробязко, А.А. Сошников // Вестник АлтГТУ. 2003. №1. С. 40–48.

...т-тлеп нтсонэповсэд йонсэвпмпко мэтсэ йнадеор  
 рутэновек на объектах АПК / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко // Вестник алтайской науки. Эффективность и безопасность энергосбережения. Барнаул, 2004. Изд-во АлтГТУ. Вып. 1. С. 211–226.



Рис. 6. Общий вид моделирования для алгоритма