

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИЙ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК АПК

О.Н. ДРОБЯЗКО

В настоящее время в теории электробезопасности формируется новое научное направление – выбор оптимальных стратегий создания систем комплексной безопасности электроустановок (СКБЭ). Развитие такого направления обусловлено необходимостью разработки научного обеспечения массового внедрения устройств защитного отключения по току утечки (УЗО).

В рамках такого направления выполнены ряд работ, в которых сформулированы основные положения рассматриваемого научного направления [1, 2]. Такие положения сводятся к следующему.

1. Дано обоснование тому, что процесс массового внедрения в России устройств защитного отключения и создания на этой основе систем комплексной безопасности электроустановок будет иметь длительный и поэтапный характер.

2. Дано определение стратегии создания системы комплексной безопасности электроустановок как последовательности действий по созданию СКБЭ, описываемой моментами времени установки УЗО, объектами установки УЗО, а также структурой и параметрами СКБЭ, создаваемыми на отдельных объектах. Стратегия рассматривается как концептуальная модель процесса создания СКБЭ.

3. Разработано графическое представление стратегии в пространстве трех ее характеристик, а также алгебраическая форма записи стратегии в виде специальной матрицы.

4. Разработаны математические модели, позволяющие количественно оценивать эффективность стратегии. В основе таких моделей лежит подсчет математических ожиданий числа электропоражений и электропожаров, возникающих на множестве объектов в течение периода установки на них УЗО. Такой подсчет, в свою очередь, опирается на вычисление математических ожиданий, описывающих оба вида опасности на одном объекте при установке на нем УЗО.

5. Произведена общая постановка задачи оптимизации стратегии создания СКБЭ на множестве объектов. Охарактеризованы ограничения такой задачи.

Несмотря на полученные результаты, остаются нерешенными ряд важных вопросов разрабатываемой теории. В первую очередь это касается обоснованного выбора **периода времени**, на протяжении которого должна оцениваться эффективность стратегии.

Ранее в теории электробезопасности оценка эффективности СКБЭ на отдельном объекте осуществлялась за год. При этом эффективность системы безопасности на протяжении этого года считалась неизменной.

При оценке эффективности СКБЭ на множестве объектов приходится учитывать изменение этой эффективности (в связи с установкой УЗО) как на самом объекте, так и на множестве объектов в целом.

Кроме того, приходится учитывать и изменение (уменьшение) опасности на множестве объектов после того, когда все УЗО будут установлены. Такие изменения оцениваются по отношению к исходному уровню опасности, который был на множестве объектов до начала установки на нем УЗО.

Для обоснования периода времени оценки эффективности стратегии введем ряд ее характеристик.

Введем сначала понятие *интервала реализации* стратегии. Будем считать, что такой интервал определяется моментами первой и последней установки УЗО на множестве объектов. Обозначим его символом $\Delta S_{\text{стр}}$.

На основе этого понятия введем понятия *однолетней* и *многолетней* стратегии. Будем считать стратегию *однолетней*, если длительность интервала $\Delta S_{\text{стр}}$ не превышает одного календарного года и он полностью располагается внутри такого года. Определение такой стратегии иллюстрируется временной диаграммой, приводимой на рис. 1.

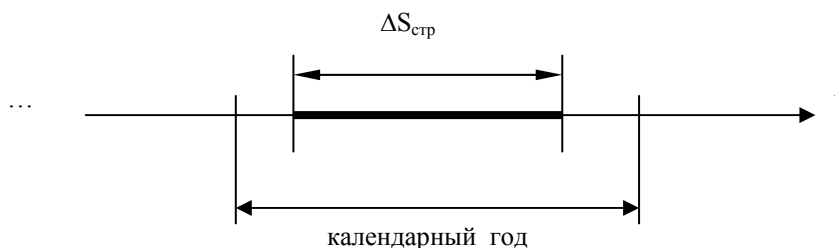


Рисунок 1 – Временная диаграмма однолетней стратегии

Будем называть стратегию многолетней, если длительность интервала $\Delta S_{\text{стр}}$ превышает один год и он пересекается более чем с одним календарным годом.

Будем называть календарные годы, имеющие полные или частичные пересечения с интервалом $\Delta S_{\text{стр}}$, *годами реализации стратегии*. В общем случае такие годы образуют последовательность лет, которую будем называть **периодом реализации стратегии**.

На протяжении этого периода *эффективность* системы безопасности электроустановок на множестве объектов будет последовательно *изменяться* (повышаться) в связи с изменением в определенные моменты времени эффективности ее отдельных *элементов* – СКБЭ на отдельных объектах.

Можно также считать, что на протяжении этого периода указанные элементы системы безопасности *изменяют* свое *состояние*. В связи с этим можно называть такой период функционирования системы безопасности **периодом динамического (нестационарного) состояния СКБЭ**.

Для оценки эффективности стратегии необходим также учет длительности периода времени, в течение которого *полностью* созданная на множестве объектов система безопасности за период реализации некоторой стратегии будет функционировать.

Будем предполагать, что в течение этого периода *состояние* (и, соответственно, эф-

фективность) *элементов* системы безопасности электроустановок на множестве объектов не изменяется. В этом случае в течение рассматриваемого периода будет сохраняться неизменным и состояние всей системы безопасности в целом. Назовем определяемый таким образом период **периодом стационарного состояния СКБЭ**.

Будем считать, что такой период начинается с первого дня года, следующего за последним годом реализации стратегии.

Дата окончания этого периода может быть определена следующими событиями:

- ликвидацией части объектов;
- реконструкцией некоторых объектов, повлекшей изменение их схем электроснабжения, что, в свою очередь, потребовало изменений в системе безопасности их электроустановок;
- реконструкцией систем безопасности объектов с целью создания многоступенчатых селективных систем защиты.

Дата окончания рассматриваемого периода может не совпадать с началом или концом некоторого календарного года. Однако если период стационарного состояния СКБЭ будет достаточно длительным, то его последним “неполным” годом будем пренебрегать.

Временная диаграмма, описывающая определяемый период для однолетней стратегии, приведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Периоды различных состояний СКБЭ для однолетней стратегии

Будем в дальнейшем называть рассмотренные два периода, связанные со стратегией создания системы безопасности, **характерными периодами функционирования** СКБЭ.

Введенные периоды позволяют сформулировать важное свойство стратегий, состоящее в том, что на *различных* характерных периодах одной и той же стратегии могут быть получены *различные* заключения об ее эффективности. В связи с этим можно говорить о наличии у стратегии одновременно двух видов эффективности – “динамической” и “стационарной”.

Для вынесения *однозначного* заключения об эффективности той или иной стратегии необходимо учитывать ее эффективность *одновременно на двух характерных периодах* функционирования СКБЭ.

Кроме того, необходимо учитывать, что заключения об эффективности стратегии в аспектах электробезопасности и пожаробезопасности также могут быть различными.

Введем специальную символику для обозначения длительностей периода реализации стратегии (периода динамического состояния СКБЭ) и периода стационарного состояния СКБЭ. Будем считать, что в общем случае первый из периодов имеет длительность D лет, а второй – длительность L лет (для однолетней стратегии $D=1$).

Будем рассматривать в качестве показателей эффективности стратегий суммы математических ожиданий, оценивающих соответствующие опасности, подсчитанные для каждого из периодов.

Такой показатель для оценки эффективности многолетней стратегии в аспекте электробезопасности будет иметь вид

$$M[n_{ЭП}]_{D+L}^{стр} = M[n_{ЭП}]_D^{стр} + L \cdot M[n_{ЭП}]_{стационар}^{стр}, \quad (1)$$

а в аспекте пожаробезопасности -

$$M[n_{П}]_{D+L}^{стр} = M[n_{П}]_D^{стр} + L \cdot M[n_{П}]_{стационар}^{стр}. \quad (2)$$

Первые слагаемые в выражениях (1) и (2) представляют собой суммы математических ожиданий числа электропоражений и пожаров за D лет периода реализации многолетней стратегии.

Технология подсчета каждого из таких слагаемых рассмотрена в [1,2]. Они подсчитываются как суммы математических ожиданий, оценивающих соответствующие опасности на каждом из объектов в условиях установки на них УЗО.

Вторые сомножители вторых слагаемых представляют собой математические ожидания числа электропоражений и пожаров по электрическим причинам, подсчитанные для одного года периода стационарного состояния СКБЭ [1,2]. Они определяются как суммы математических ожиданий числа соответствующих опасных событий на всех объектах после установки на них УЗО.

В формулах в нижних индексах показателей отражены длительности характерных периодов стратегии.

Для уяснения смысла показателей эффективности стратегии полезно воспользоваться специальными временными диаграммами.

Введем перед этим для удобства изложения понятие *обобщенного фактора опасности электроустановок*. Будем считать, что он может рассматриваться или как фактор “опасность электрического тока для человека” или как фактор “пожарная опасность электроустановок”. Будем считать, что такой фактор случаен. Его *проявление* описывается как факт свершения случайного события (электропоражения или электропожара). Будем обозначать такое обобщенное событие символом ОП. Рассмотрим также случайную величину, описывающую *количество проявлений* обобщенного фактора опасности электроустановок за некоторое время T . Будем использовать характеристику распределения этой случайной величины “математическое ожидание числа свершений обобщенного фактора” и обозначать ее символом $M[n_{ОП}]$.

Рассмотрим, прежде всего, диаграмму, отражающую динамику суммарной опасности того или иного вида на множестве электроустановок. При ее построении для определенного опасного фактора осуществляется суммирование площадей всех совмещенных диаграмм по всем объектам. (Понятие совмещенных диаграмм введено в [1,2]). Такое суммирование осуществляется отдельно в пределах каждых суток года.

Рассмотренная технология позволяет получить двумерную диаграмму, отражающую динамику суммарной опасности того или иного вида. Будем называть такую диаграмму **суммарной временной диаграммой опас-**

ности электроустановок на множестве объектов.

Высота каждого столбика этой диаграммы, отражающего суточную опасность на множестве объектов, будет определяться как сумма высот соответствующих ему во времени столбиков, отражающих суточные опасности на диаграммах опасностей отдельных объектов. Каждые сутки, в которых было осуществлено создание СКБЭ (произведена установка УЗО на одном из объектов), будут давать “ступеньку” в такой диаграмме. Причем “высота” такой “ступеньки” будет равна $(M[n_{оп}]^{до}_m - M[n_{оп}]^{пос}_m)/S$, где m – номер объекта, для которого произведена установка УЗО, S – количество суток работы объекта в течение года, а индексы “до” и “пос” характеризуют состояние безопасности до и после внедрения УЗО. (“Высота ступеньки” будет характеризовать повышение эффективности системы безопасности на объекте). “Ступеньки” могут иметь различную “ширину”, определяемую числом суток между последовательными установками УЗО.

Пример суммарной временной диаграммы для обобщенного опасного фактора приведен на рис. 3.

На рассматриваемой диаграмме выделяются характерные точки $A^{до}$ и $A^{пос}$. Их значения для обобщенного фактора опасности определяются следующим образом:

$$A^{до} = \sum_{m=1}^M M[n_{оп}]^{до}_m / S,$$

$$A^{пос} = \sum_{m=1}^M M[n_{оп}]^{пос}_m / S, \quad (3)$$

где M – общее количество объектов.

В этих условиях *площадь диаграммы* численно равна значениям математических ожиданий, оценивающих опасность на множестве объектов за S суток функционирования объектов. Другими словами, такая диаграмма позволяет оценить суммарную опасность электроустановок на множестве объектов за период реализации стратегии и, тем самым, оценить эффективность этой стратегии.

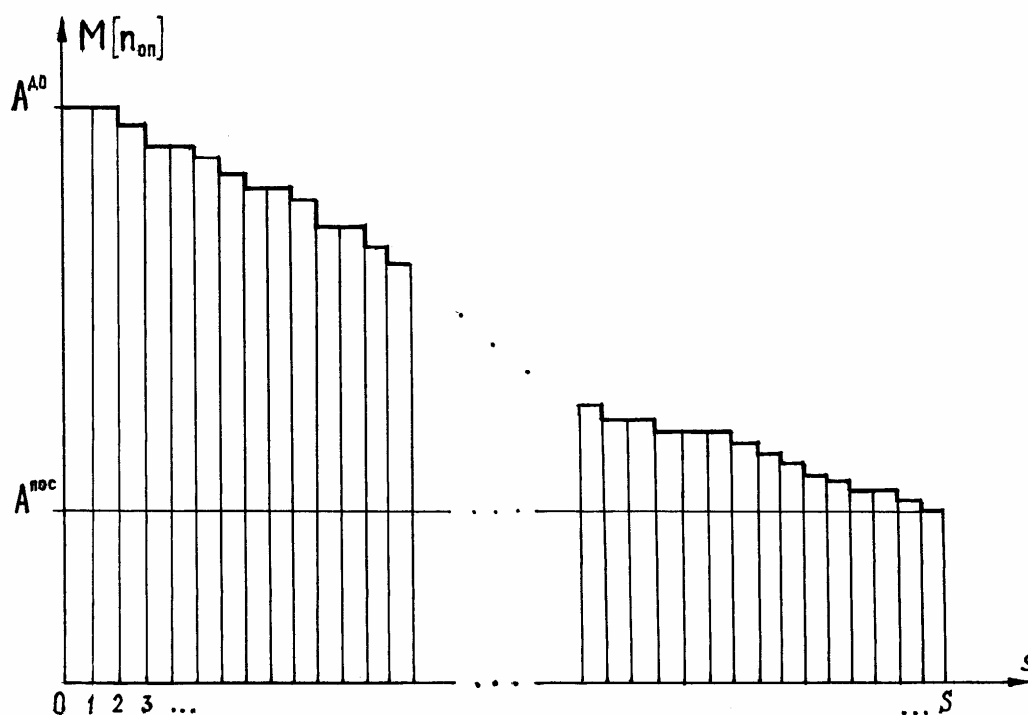


Рисунок 3 – Суммарная временная диаграмма опасности электроустановок на множестве объектов

Для иллюстрации смысла показателей эффективности (1) и (2) можно построить суммарные временные диаграммы опасности для многолетней стратегии (для характерных периодов функционирования СКБЭ на множестве объектов).

Пример такой диаграммы приведен на рис. 4.

Площадь такой диаграммы характеризует суммарную опасность электроустановок одновременно на двух характерных периодах стратегии и, соответственно, характеризует эффективность стратегии на этих периодах. Естественно считать, что, чем площадь диаграммы меньше, тем стратегия эффективнее.

Введенные показатели эффективности многолетних стратегий позволяют использовать их в качестве критериев оптимальности при решении задачи оптимизации стратегий создания СКБЭ или, по другой формулировке, при решении задачи выбора оптимальной стратегии. (Ранее в [2] при построении критериев оптимальности использовались только подсчитываемые за год показатели эффективности стратегии для периода реализации стратегии).

При задании критериев оптимальности естественно считать ту стратегию *лучше*, которая обеспечивает *меньшее* значение показателя ее эффективности, оценивающего суммарную опасность электроустановок в виде математического ожидания случаев проявления опасного фактора на множестве объектов за характерные периоды стратегии.

Будем применять специальную символику для обозначения критериев оптимальности стратегий отдельно в аспекте электробезопасности и пожаробезопасности. Для обозначения критерия оптимизации будем использовать символ Q . В верхнем индексе этого символа будем указывать величину D , а в нижнем – величину L . Вид конкретного опасного фактора электроустановок будем указывать в скобках. Тогда критерии оптимальности для многолетней стратегии будут иметь вид

$$Q_L^D(\text{ЭП}) = M[n_{\text{ЭП}}]_{D+L}^{\text{стр}}, \quad (4)$$

$$Q_L^D(\Pi) = M[n_{\Pi}]_{D+L}^{\text{стр}}. \quad (5)$$

При формировании критериев оптимальности стратегий приходится также принимать во внимание тот факт, что стратегия создания СКБЭ, оптимальная в аспекте обеспечения электробезопасности, может не быть таковой в аспекте обеспечения пожаробезопасности. Поэтому задача выбора стратегии, одновременно оптимальной по критериям электробезопасности и пожаробезопасности, в общем случае может быть неразрешима.

Тем не менее, в рамках исследования операций [3...6] применяются методы, позволяющие выбрать некоторый *компромиссный* вариант стратегии, который, не являясь оптимальным ни для одного из введенных критериев, был бы наилучшим для всех критериев *в целом*.

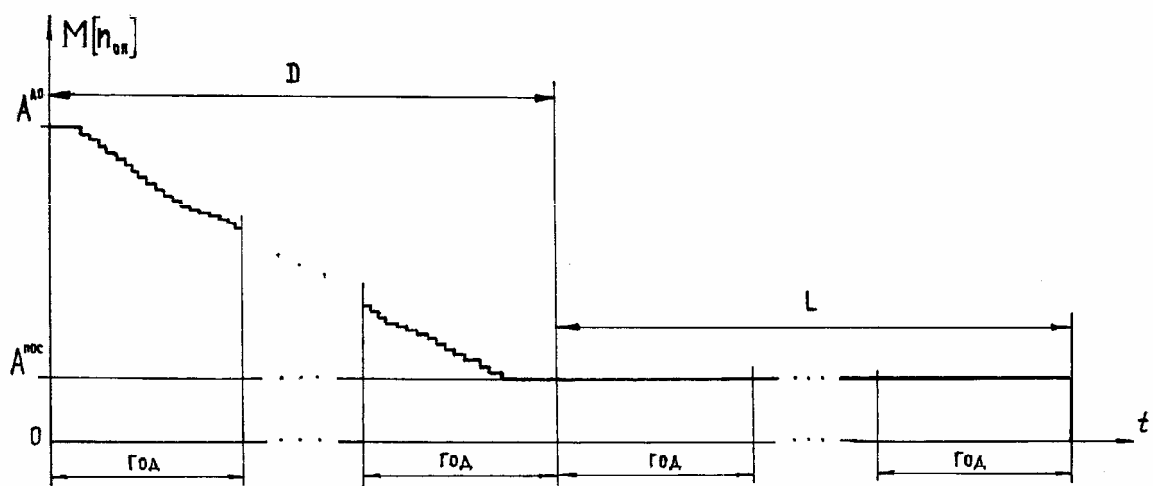


Рисунок 4 – Суммарная временная диаграмма опасности для многолетней стратегии

Формально указанный компромиссный вариант рассматривается как решение задачи многокритериальной (векторной) оптимизации. В такой задаче для совместного учета всей совокупности частных критериев вводится *векторный критерий оптимальности*, представляемый в виде вектора, компонентами которого являются частные критерии эффективности.

Известны три метода решения задачи многокритериальной (векторной) оптимизации: 1) выделение одного из частных критериев в качестве главного и перевод других критериев в ограничения; 2) метод последовательных уступок; 3) использование обобщенного критерия.

При использовании первого метода выделяется главный критерий, а другие критерии переводятся в ограничения. При решении данной задачи использование такого метода невозможно, поскольку частные критерии считаются равнозначными, а также затруднено задание ограничений.

Второй метод требует ранжирования критериев, что противоречит требованию равнозначности критериев.

Поэтому при решении задачи выбора оптимальной стратегии целесообразно использование обобщенного критерия.

Существует несколько способов построения таких критериев. При решении данной задачи целесообразно использование мультипликативного и аддитивного критериев. (Причем при их построении должна учитываться равнозначность частных критериев).

Мультипликативный критерий (реализующий принцип одинаковой относительной

уступки), для данной задачи имеет вид произведения частных критериев:

$$F_m = Q_L^D(\text{ЭП}) \cdot Q_L^D(\Pi) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Аддитивный критерий (реализующий принцип одинаковой абсолютной уступки), для данной задачи будет представлять собой сумму нормированных частных критериев (4).

Таким образом, можно считать, что к настоящему времени проработаны все основные вопросы моделирования и оптимизации стратегий создания систем комплексной безопасности электроустановок АПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дробязко О.Н., Сошников А.А. Выбор оптимальных стратегий создания систем комплексной безопасности электроустановок АПК // Вестник АлтГТУ. – 2003. – № 1. – С.40-46.
2. Сошников А.А., Дробязко О.Н. Выбор оптимальных стратегий создания систем комплексной безопасности электроустановок на объектах АПК // Вестник Алтайского научного центра сибирской академии наук высшей школы. – 2002. – № 5. – С.58-64.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
4. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Радио и связь, 1984.
5. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. Радио, 1980. – 232 с.
6. Батищев Д.И. Поисковые методы оптимального проектирования. – М.: Сов. Радио, 1975. – 216 с.