

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ТЕХНОГЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ В КОНТЕКСТЕ ТЕОРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ И РИСКА

О.К. Никольский, Т.В. Еремина, П.И. Семичевский

Изложена системная методология оценки безопасности, как функционального свойства сложных систем, базирующаяся на введении показателя риска.

Ключевые слова: оптимизация, риски, оценка ущерба, электротравма, информационное обеспечение, дерево событий.

Состояние безопасности электроустановок в России в настоящее время достигло недопустимо низкого уровня и привело к необходимости включения системы жизнеобеспечения и защиты человека, снижение риска и уменьшение последствий техногенных катастроф в Перечень критических технологий, утвержденный Президентом РФ 30 марта 2002 г.

Решение этой проблемы представляет исключительную важность для развития страны. По существу оно сводится к созданию эффективной системы управления безопасностью электроустановок для предупреждения пожаров и электротравм, базирующейся на перспективном нормативном правовом, научном и технологическом обеспечении.

Сложившаяся ситуация потребовала обоснования принципиально нового подхода к решению проблемы безопасности, в основу которого должна быть положена идеология предотвращения возможных аварий, пожаров и электротравм путем создания «системы оптимальной безопасности электроустановок» [1]. Причем, суть этой оптимизации состоит в минимизации материальных и финансовых ресурсов при заданном (допустимом) уровне безопасности или оправданным техногенным риском.

Известно, что авария, пожар или несчастный случай на производстве происходит при совпадении в пространстве и во времени множества независимых случайных событий, каждое из которых участвует в формировании этих ситуаций, поэтому последние с полным правом можно отнести к сложным случайным событиям. Известно также, что количественной мерой случайного события является вероятность. Следовательно, в качестве показателя уровня безопасности может выступать степень риска, включающего частоту, с которой происходит опасное событие, и его последствия.

В 70-х годах начинает формироваться новое направление исследований - оценка технологического риска. Экономика и техника развиваются в условиях, которые несут в себе факторы неопределенности, стохастичности, конфликтности при выборе оптимальных альтернатив, обостряют противоречия системы "человек-техника-природа". Новые технологии, принося людям блага, давая средства для удовлетворения материальных и духовных потребностей, одновременно приносят в нашу действительность новые трудности и опасности, оказывают негативное воздействие на состояние среды обитания человека, становятся источником аварий и несчастных случаев, то есть создают определенный фон риска.

Поскольку невозможно создать для человека среду обитания полностью свободной от риска, то становится важной разработка средств контроля и оценка степени технологического риска, его прогнозирование.

При решении этой проблемы здесь можно выделить следующие подходы [2].

Первый, господствующий в советском обществе, основывался на том, что одним из показателей развития научно-технического прогресса должно быть полное отсутствие опасности риска для человека. Однако, такая постановка вопроса вряд ли была оправдана, поскольку, с одной стороны, любой вид человеческой деятельности носит вероятностный характер и в силу этого связан с некоторым изначальным риском, а с другой – требование полного исключения риска аварий, гибели людей приводит к абсурду – отказаться от электричества, транспорта и многих других порождений технического прогресса.

Второй подход базируется на очевидном: риск в современной жизни принципиально неустраним и абсолютная безопасность не допустима ни в одной сфере человеческой деятельности. Реализовать этот подход, как уже говорилось, возможно, оптимизируя саму сис-

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ТЕХНОГЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ В КОНТЕКСТЕ ТЕОРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ И РИСКА

тему безопасности, т.е. сформировать такой комплекс организационных мер и технических средств, который бы обеспечивал нормальное (допустимое) взаимодействие человека и техники. Такая задача оптимизации принципиально может быть решена двумя путями [3]:

максимизировать уровень безопасности (снизить риск) при заданных материальных затратах;

минимизировать затраты (т.е. финансовые и материальные ресурсы, направляемые на создание системы безопасности) при заданном (допустимом) уровне риска.

Первый путь в социальном плане наиболее предпочтителен, поскольку здесь декларируется стремление гарантированно обеспечить безопасность на максимально возможном уровне, а отнюдь не на уровне, диктуемом "экономическими соображениями". Однако, как было сказано выше, сегодня для нашего общества этот путь, к сожалению не возможен.

Второй путь оптимизации, в основе которого лежит экономический фактор, связан с обоснованием количественной оценки допустимого технологического риска. Здесь основной целью анализа является установление предельного значения риска. Допустимость риска при этом понимается как норма, установленная в законодательном порядке. Эта норма должна базироваться на принятых в России технических стандартах системы безопасности, выше которых риск считается неприемлемым. В качестве допустимого значения технологического риска следует принять величину $N=1 \times 10^{-6}$ - уровень безопасности в электроустановке или уровень пожарной безопасности. Эта величина, отражающая частоту возникновения аварий, несчастных случаев и пожаров, настолько мала, что ради выгоды, полученной от использования техники, общество готово пойти на такой риск. Физический смысл этой величины можно объяснить следующим образом. Если под наблюдением в течение времени T , равном одному году, будет находиться $N=1.000.000$ однотипных электроустановок, то статистически допускается на данном интервале времени одна авария (пожар, электротравма) $n=1$ на одной из этих электроустановок, т.е. $N=n:NT=1:1.000.000=1 \times 10^{-6}$.

Статистический анализ данных за последние годы показал, что интенсивность несчастных случаев и аварий в электроустановках составляет $1,5 \times 10^{-3}$, т.е. на три порядка больше допустимого значения. Следовательно,

задача состоит в том, чтобы с минимальными затратами разработать такие организационные и технические мероприятия, которые позволили бы гарантировать допустимый уровень риска (1×10^{-6}). Решение этой задачи методами структурно-параметрической оптимизации [4] дает возможность определить необходимый и достаточный объем инвестиций в энергетику.

Для оценки степени опасности важной является не только частота ее появления, но и тяжесть последствий для индивидуума, общества или окружающей среды. Поэтому риск R следует рассматривать как некоторую интегральную характеристику в виде произведения вероятности появления опасного техногенного события P (пожар, электротравма и т.д.) и ожидаемого ущерба Y в результате этого события, т.е. $R=P \cdot Y$, или

$$R = \sum_{i=1}^n p_i y_i$$
 если может иметь место n опасных событий i с разными вероятностями p_i и соответствующим им ущербом y_i .

Одним из наиболее важных и противоречивых вопросов во многих исследованиях по оценке риска является экономическая оценка ущерба, вызванного гибелью человека, например, при электротравме. Этот вопрос является актуальным, так как во многих случаях цена риска человеческой жизни является достаточно большой величиной в сравнении со стоимостью других видов риска. Так, согласно данным отечественных и зарубежных источников, более 90% ущерба в угольной промышленности, который удается оценить в экономических показателях, относятся к риску жизни и здоровья человека. Поэтому в основу оптимизации системы техногенной безопасности должна быть положена экономическая оценка риска жизни человека [5].

Вопрос о стоимости человеческой жизни на протяжении многих лет вызывал и до сих пор вызывает острые дискуссии. Правомерна ли вообще такая постановка вопроса? Можно ли экономически оценивать жизнь человека? Здесь обычно возникает противоречие. С одной стороны, нелепо оценивать жизнь конкретного человека в денежном эквиваленте, и вряд ли можно найти здравомыслящего человека, готового, пусть даже за очень большую сумму, пожертвовать своей жизнью. Отсюда следует, что ценность собственной жизни и жизни близких людей выше любой сколь угодно большой суммы. В гуманном обществе бесконечной ценностью представляется не только собственная жизнь и жизнь

близких, но и жизнь окружающих, т.е. каждого отдельного человека. Поэтому существовавшее в советское время мнение об оценке стоимости человеческой жизни признавалось циничным и неприемлемым по морально-этическим соображениям.

С другой стороны, в комплексе жизненных благ человека безопасность занимает видное, но не определяющее место. Ее вес в жизни человека соизмерим с материальными и духовными ценностями, зачастую не удлиняющих жизнь, но повышающих ее качество. Человек мирится с пагубными привычками, вредными и опасными производствами, экстремальными видами спорта, даже с возможностью преждевременной смерти, полагая, что существующий риск покрывается получаемыми при этом преимуществами, такими как дополнительные материальные блага, комфорт, захватывающие ощущения и др. Само существование профессий, связанных с высокой вредностью и опасностью, говорит о том, что дополнительные блага (высокая заработная плата и социальные льготы) могут перекрывать возможные отрицательные последствия для жизни и здоровья человека на вредных производствах и опасных видах деятельности.

Возникшее противоречие – жизнь человека не может быть оценена конечной денежной суммой, однако, саму жизнь можно сопоставить с благами, ценность которых имеет конечное денежное выражение – устраняется, если будут разграничены два понятия: жизнь индивидуума (конкретного человека) и жизнь среднестатистического человека. Если конкретному человеку грозит опасность – ценность его жизни не должна сводиться к некоей денежной сумме. Вопрос не стоит: нужно или не нужно его спасать – какой бы суммой ни выражалась стоимость его спасения, ибо не существует таких денежных средств, которыми можно было бы выразить ценность его жизни. Поэтому, говоря о статистической жизни, не имеется в виду жизнь конкретного человека. При допустимом (приемлемом) риске стоимость статистической жизни является конечной величиной, которую можно выразить в денежном исчислении. В то же время следует понимать, что далеко не все затраты, направленные на снижение риска, экономически возможны и оправданы. Нельзя требовать снижения риска любыми средствами, поскольку это нереально, как и невозможно добиться создания абсолютной безопасности с нулевым риском. Очевидно, должен существовать некоторый предел финан-

совых средств и материальных ресурсов, выше которых их расходование становится нецелесообразно, а в ряде случаев и невозможно при определенном уровне экономического развития общества. Оптимальная же величина расходования средств на снижение риска для жизни и здоровья человека может быть определена с использованием экономического эквивалента риска.

Социально-экономический ущерб от преждевременной смерти (гибели) человека может быть определен как произведение ожидаемого количества погибших на среднестатистическую оценку стоимости статистической жизни (ССЖ). Наиболее объективные оценки ССЖ, полученные на основе социально-экономических исследований и анализа рынка труда для развитых стран, находятся в диапазоне от 3 до 7 млн. долл. США [6].

Учитывая существенно более низкие среднедушевые доходы населения России по сравнению с экономически благополучными странами, для проведения оценки социально-экономического ущерба разумным представляется диапазон ССЖ, равной 100÷300 тыс. долл. США с точечной оценкой порядка 200 тыс. долл. США. Укажем, что рекомендуемые к использованию средние и граничные значения ССЖ нужно рассматривать в рамках сложившихся в настоящее время экономических условий. По мере стабилизации экономического положения в России ССЖ может быть пересмотрена в сторону увеличения, что необходимо для того, чтобы экономические механизмы управления риском работали более эффективно.

Анализ риска является частью системного подхода к принятию организационных решений и практических мер, направленных на предупреждение или уменьшение аварий электроустановок, электротравматизма людей и пожаров, вызванных электротехническими причинами (короткими замыканиями, токами утечки через изоляцию на землю, перегрузками в сети и т.д.). Анализ риска можно рассматривать как процесс идентификации опасностей в электроустановках и их оценка для отдельных лиц или группы людей, материальных объектов и окружающей среды. При этом опасность трактуется как источник потенциального ущерба, создающий реальную угрозу жизни и здоровью людей и среде их обитания. Анализ риска заключается в использовании всей доступной информации для идентификации (выявления) опасностей. Этому должна предшествовать организация систематического сбора, обработки и анализа

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ТЕХНОГЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ В КОНТЕКСТЕ ТЕОРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ И РИСКА

статистического материала о случаях поражения людей электрическим током.

В работах [1,7] изложена концепция подсистемы информационного обеспечения научных и прикладных задач в области электробезопасности. Основными функциями этой подсистемы следует считать:

1. Комплексное изучение причинно-следственных связей признаков, влияющих на уровень электротравматизма.

2. Статистическая оценка параметров, характеризующих уровень электробезопасности.

3. Прогнозирование показателей частоты и тяжести электротравматизма.

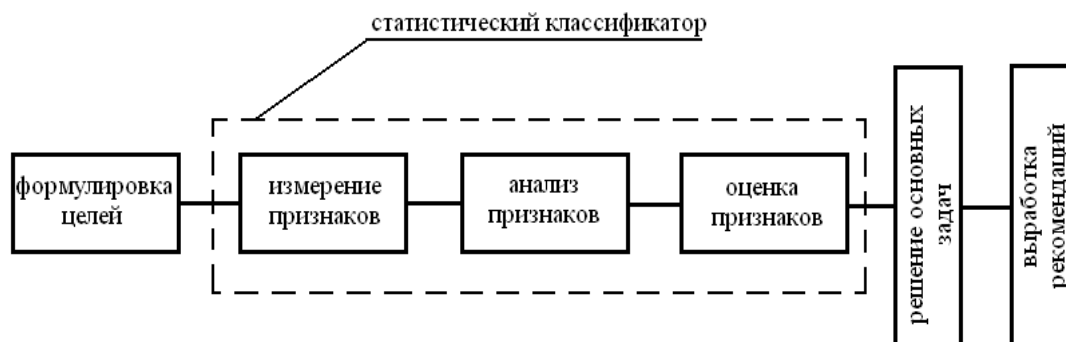


Рисунок 1- Структура подсистемы информационного обеспечения

На рисунке 1 представлена структура подсистемы информационного обеспечения.

Основные требования, которым должна удовлетворять рассматриваемая подсистема, представим в обобщенном виде:

1. Ценность информации раскрывается в использовании значимых (основных) признаков, описывающих каждую электротравму, и в последующем статистическом анализе.

2. Изучение причин электротравматизма должно производиться с использованием не только качественных, но и количественных методов, ибо причины одной (отдельно взятой) электротравмы и их совокупности – это не одно и то же. Достоверность выводов статистического анализа электротравматизма зависит от объема изучаемой совокупности, т.е. от количества рассматриваемых травм. В качестве примера рассмотрим использование классификатора для определения основных признаков, характеризующих уровень электробезопасности (или электротравматизма) при работе с ручным электроинструментом. На рисунке 3 выделена та часть структуры классификатора, которая содержит интересные нас признаки. Здесь в процентах обозначены вероятности электропоражения человека по отдельным признакам.

3. Собранная статистическая информация должна быть систематизирована с помощью так называемого классификатора признаков электротравмы (рисунок 2).

Статистический классификатор должен содержать в себе информацию, необходимую

и достаточную для решения сформулированных выше задач. Стремление ввести в классификатор объемные «разнокалиберные» статистические данные не только усложняют процедуру анализа, но, главное, затрудняют выделение из большого объема данных наиболее главных критических признаков. По нашему мнению, таких признаков должно быть не более 10-20. Основной функцией классификатора должно быть устранение субъективизма при описании обстоятельств электротравмы.

5. Статистический классификатор должен содержать блок формирования информационного массива данных, а также методическое и программное обеспечение, используемое в целях соответствующей обработки и анализа информации для принятия решений, направленных на снижение и профилактику электротравматизма.

Признак А учитывает влияние значения номинального напряжения электроинструмента. Выделим три значения признака: A_1 (36-42 В); A_2 (220 В); A_3 (380 В). Вероятность их появления соответственно равна следующим величинам: 5%, 65 % и 30 %.

Признак В определяет виды работ с ручным электроинструментом. Выделены основные значения признака с их вероятностями: подключение инструмента к сети (12,6%) ремонт и работа с ним (8,4 %; 79 %). Примем допущение, что в условиях быта сельского населения эти виды работ выполняются одним и тем же лицом.

Раздел 1. Проблемы электробезопасности. Современные электротехнологии и электрооборудование

Признак С определяет травмоопасную ситуацию – схему включения человека в цепь электрического тока. Для дальнейшего анализа выделены два значения признака: прикосновение к токоведущим частям (22,4 %) и прикосновение к корпусу инструмента, оказавшемуся под напряжением из-за повреждения изоляции (77,6 %).

Признак D определяет категорию помещения по электробезопасности. На рисунке 3 представлены четыре одномерных распределения по числу представленных признаков. Учет влияния значения признака на электротравматизм оценивается с помощью показателя, представляющего собой отношение числа травм к базовой величине. В данном случае базовой величиной является общее число учтенных при анализе электротравм, а показатели могут быть выражены в процентах или долях. Доля представляет собой ста-

статическую вероятность появления электротравмы при конкретном значении признака. Одномерные распределения в настоящее время широко используются при расследовании причины электротравмы. Одномерное распределение позволяет детально разобратся в причинах электротравматизма. Рассмотрение приведенных признаков (рис. 3) показывает, что наибольшее число травм наблюдается при использовании повышенного напряжения питания электроинструмента, когда при работе с ним человек касается корпуса, на котором присутствует фазное напряжение относительно земли, а работы выполняются в особо опасном помещении.

Вместе с тем для проведения комплексного анализа электротравматизма представляет несомненный интерес построение n-мерных распределений. Простейшее из них – двумерное – представлено в таблице 1.

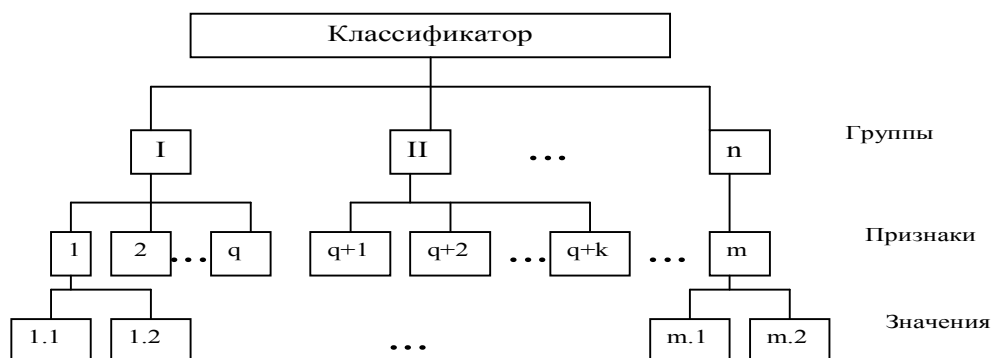


Рисунок 2- Структурная схема статистического классификатора

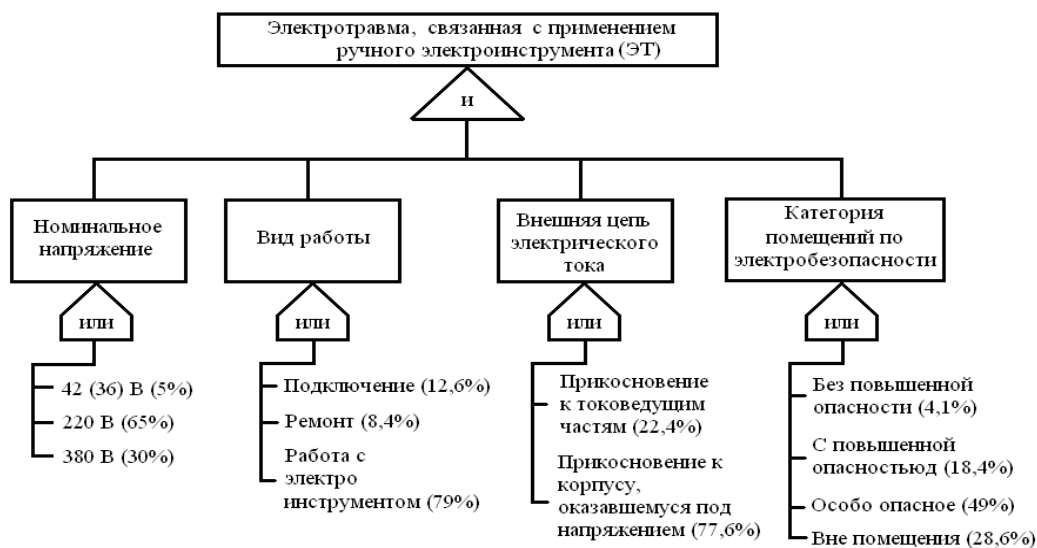


Рисунок 3- Дерево признаков электротравматизма

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ТЕХНОГЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ В КОНТЕКСТЕ ТЕОРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ И РИСКА

Двухмерное распределение позволяет рассматривать влияние на травму одновременного изменения значений двух параметров. При возрастании размерности распределений (более двух) ухудшается наглядность

анализа. В этом случае можно использовать графический метод информации, например, построение дерева многомерного распределения признаков электротравматизма.

Таблица 1

Суммарное влияние величины напряжения питания и вида работ на показатели электротравматизма, в %

| Номинальное напряжение электроинструмента, В | Виды работ | | |
|--|------------|-------------|--------|
| | Работа | Подключение | Ремонт |
| 42 (36) | 3,8 | 0,6 | 0,4 |
| ≥220 | 75 | 12,1 | 8,1 |

Поскольку дерево признаков (рисунок 3) содержит операции ИЛИ, связанные через операцию И, то логическая функция головного события «электротравма», обозначенного через ЭТ, имеет вид произведений сумм $ЭТ=(A1+A2+A3) \times (B1+B2+B3) \times (C1+C2) \times (D1+D2+D3+D4)$. (1)

Тогда вероятности конечных ветвей дерева должны представлять собой слагаемые правой части приведенной ниже формулы после раскрытия скобок

$$P(ЭТ)=[P(A1)+P(A2)+P(A3)] \times [P(B1)+P(B2)+P(B3)] \times [P(C1)+P(C2)] \times [P(D1)+P(D2)+P(D3)+P(D4)]. \quad (2)$$

Рассмотрение дерева событий позволяет выявить при каких значениях признаков происходит наибольшее число электротравм. Проведенный анализ показывает, что этому соответствует работа с электродрелью напряжением 220 В и выше, имеющей повреждение изоляции токоведущих частей относительно корпуса в особо опасных помещениях. Очевидны и меры безопасности, которые следует здесь рекомендовать: УЗО, применение малых напряжений, использование диэлектрических перчаток, периодическая проверка сопротивления изоляции ручного электроинструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никольский, О.К. Научные основы создания оптимальных систем обеспечения электробезопасности: Автореферат дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. М. ВИЭСХ, 1979.
2. Никольский О.К., Сошников А.А. Развитие научных основ безопасности электроустановок зданий//Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 2000, №3.
3. Никольский, О.К., Риск безопасности в энергетике//Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 2000, №3.
4. Никольский О.К., Дробязко О.Н. Основы построения оптимальной системы электробезопасности в сельском хозяйстве//Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1982, №6.
5. Никольский О.К., Москаленко Г.Н., Дробязко О.Н. Оценка экономической эффективности системы обеспечения электробезопасности //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1982, №6.
6. Основы электромагнитной совместимости. Учебник для вузов под редакцией Р.Н. Карякина - Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2007.
7. Полонский А.В. Повышение безопасности электроустановок агропромышленного комплекса. Автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук, Барнаул, АлтГТУ, 2000.

Никольский О.К., проф., д.т.н., зав. кафедрой «ЭПБ» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3852) 24-74-88, **Еремина Т.В.**, докторант кафедры «ЭПБ» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3852) 36-71-29