

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ТЕХНОГЕННЫМИ РИСКАМИ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

**Л.Ю. Качесова, А.Н. Тушев**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
г. Барнаул

В статье обосновывается необходимость использования темпоральной логики для описания временных причинно-следственных связей между рискообразующими факторами при моделировании рисков электроустановок производственных объектов.

**Ключевые слова:** темпоральная логика, интеллектуальная система поддержки принятия решений, электроустановка.

Необходимость использования механизмов моделирования времени и временных зависимостей в интеллектуальных системах отмечалась уже в ранних работах по искусственному интеллекту [1]. Особенно актуальна эта проблема при проектировании современных интеллектуальных систем, ориентированных на динамические проблемные (предметные) области, типичным представителем которых является интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению техногенными рисками опасности электроустановок предприятий агропромышленного комплекса (АПК).

Эксплуатация электроустановок АПК (электрических сетей и электрооборудования) связана с рисками возникновения опасных техногенных ситуаций, например, аварий, пожаров и электротравматизма, приводящих к гибели и болезням людей. Сфера электробезопасности объединяет три разновидности факторов риска, связанных с эксплуатацией электроустановок, внешней средой и человеком, как оператором. Совокупность указанных компонентов, объединенных единой целью функционирования, представляет собой человекомашинную систему "человек – электроустановка - среда" (Ч-ЭУ-С). К факторам риска электроустановки относятся негативные события, возникающие при её эксплуатации. Среда характеризуется совокупностью факторов, оказывающих воздействие на условия эксплуатации электрооборудования. Такие воздействия инициируют возникновение отказов и аварий. Человеческий фактор, позволяет учитывать профес-

сиональные действия персонала, связанные с эксплуатацией электроустановок производственного объекта [2].

Существуют различные методы оценки и моделирования рисков техногенных опасностей применительно к электроустановкам производственных объектов, один из которых заключается в совмещении экспертной оценки факторов риска и моделировании опасных ситуаций с использованием нечетких множеств [3]. В этом методе для оценки безопасности электроустановок составляется перечень рискообразующих факторов по каждому из компонентов системы «Ч-ЭУ-С». Опрашивая экспертов в области электробезопасности, каждому рискообразующему фактору задается обозначение, смысловое выражение и доля (вес) его вклада в интегральный риск системы «Ч-ЭУ-С». Рискообразующие факторы описывается в виде лингвистических переменных, поэтому для каждой переменной рискообразующего фактора формируется терм-множество допустимых значений и функция принадлежности, область значений которой содержит это терм-множество. Например, для определения риска электротравмы человека с летальным исходом рассматриваются следующие рискообразующие факторы: X3 (соблюдение техники безопасности), X4 (уровень профессионализма), X7 (ошибки в оперативных решениях), Y1 (уровень опасности возникновения аварийных режимов), Y2 (степень износа изоляционных частей ЭУ), Y3 (срок эксплуатации ЭУ), Y6 (отказ (отсутствие) средств электрозащиты), Z1 (уровень деструктивных воздействий па-

раметров микроклимата), Z3 (диагностика технического состояния ЭУ), Z4 (частота возникновения опасных факторов), Z5 (состояние условий труда). Переменные X обозначают рискообразующие факторы, связанные с человеком, переменные Y – это рискообразующие факторы, связанные с электроустановкой, а переменные Z – рискообразующие факторы, связанные со средой.

Для вычисления значений переменных рискообразующих факторов используются формулы:

$$X_i = x_i * w_i; \quad Y_i = y_i * w_i; \quad Z_i = z_i * w_i.$$

Переменные  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$  принимают одно из значений терм – множества рискообразующего фактора. Переменные  $w_i$  – это доля (вес) влияния рискообразующего фактора на общую электробезопасность системы. Для вычисления интегрального риска техногенной опасности строится схема связи между факторами риска. Каждой связи ставится в соответствие операция нечеткой логики «нечеткое И» и «нечеткое ИЛИ». Например, для вычисления риска «Электротравма с летальным исходом» используется следующее символическое выражение:

$$R = \text{AND}(X, Y, Z) = \text{AND}(\text{OR}(X3, X4, X7), \text{AND}(\text{AND}(Y3, Y2, Y1), Y6) \text{AND}(\text{AND}(Z1, Z3, Z5), Z6)).$$

После замены операций нечеткой логики математическими операциями символическое выражение примет вид:

$$R = \min(\max(X3, X4, X7), \min(\min(Y3, Y2, Y1), Y6) \min(\min(Z1, Z3, Z5), Z6)).$$

Для оценки интегрального риска R используется пятибалльная лингвистическая шкала с интервальными значениями согласно нормативно-технической документации.

В описанной методике моделирования рисков опасности электроустановок с использованием нечетких множеств не учитываются временные (темпоральные) зависимости, которые могут существовать между рискообразующими факторами. Например, в модели риска «электротравма с летальным исходом» между факторами Y3 (срок эксплуатации ЭУ), Y2 (степень износа изоляционных частей ЭУ) и Y1 (уровень опасности возникновения аварийных режимов) может существовать темпоральная причинно-следственная связь, описываемая следующим высказыванием: уровень опасности возникновения аварийных режимов зависит от степени износа изоляционных частей ЭУ, которая зависит от срока эксплуатации ЭУ.

Для описания подобных приведенному выше высказываний, отражающих временные

взаимосвязи, целесообразно использовать возможности аппарата временных (темпоральных) логик [4].

Среди всего разнообразия темпоральных логик можно выделить следующие три класса: первопорядковые, модальные и интервальные.

В первопорядковой временной логике время выступает в качестве аргумента в предикатах. Эти логики основаны на тех же законах, что и классическая логика высказываний, что обуславливает простоту их применения. При этом они не обеспечивают возможности удобной формализации высказываний представленного выше типа.

В модальной временной логике к классическим логическим связкам добавляются модальные операторы. Например, модальные операторы логики Прайора Until (до тех пор, пока), Release, Next (следующий), Future (когда-нибудь), Globally (всегда), All и Exists выражают высказывания, истинные для отдельных моментов времени, либо – с помощью производных операторов – для совокупности моментов времени в прошлом или будущем. Среди модальных логик можно выделить пропозициональную темпоральную логику (PTL – Propositional Temporal logic). PTL является модальной темпоральной логикой, построенной на основе классической логики с добавленными операторами для дискретного линейного времени. Расширением PTL является пропозициональная темпоральная логика ветвящегося времени (BPTL – Branching – Time Propositional Temporal logic) [5]. В линейной дискретной PTL в качестве модели времени используется упорядоченная последовательность натуральных чисел, при этом каждое состояние имеет только одного преемника. В ветвящейся логике BPTL каждое состояние может иметь более одного преемника и может быть множество возможных путей из данного состояния (как следствие, возможно несколько различных «будущих»). Моделью времени в случае BPTL – это бесконечное дерево, но каждая вершина которого имеет конечное, ненулевое число преемников. Допускается существование лишь одного прошлого, но разрешается будущему быть открытым. Доказано, что пропозициональная темпоральная логика разрешима.

Вместе с тем, имеются события, происходящие на конечных временных интервалах. Именно поэтому точечные или лучевые временные логики не позволяют выражать все типы высказываний. Современные представ-

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ  
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПО УПРАВЛЕНИЮ ТЕХНОГЕННЫМИ РИСКАМИ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

ления о времени позволяют использовать сразу несколько отношений порядка, не только «раньше», «позже», но и «строго раньше», «примыкает», «пересекается», «включает в себя» и т.д. Они используются в интервальной временной логике и обеспечивают возможность квантификации и подстановки высказываний в качестве аргументов временных предикатов. В составе интервальной логики Дж. Аллена применимы следующие базисные временные предикаты: Before, After, Meets, Met-By, Overlap, Overlapped-By, During, Includes, Starts, Started-By, Finishes, Finished-By и Equals. Их использование позволяет выражать высказывания в пределах языка логики первого порядка.

На основе анализа концепций времени и методов явного представления темпоральных зависимостей можно сделать вывод о том, что для учета темпоральных зависимостей, которые могут существовать между рискообразующими факторами модели рисков опасности электроустановок наиболее целесообразным является использование пропозициональной темпоральной логики и интервальной темпоральной логики Дж. Аллена.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поспелов Д. А. Логико – лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоиздат, 1981.
2. Никольский О.К. Теория и практика управления техногенными рисками [Текст]. / О.К. Никольский, Н.П. Воробьев, Т.В. Еремина, А.Ф. Костюков, А.Ф. Калинин, А.Н. Тушев – Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2015. – 219 с.
3. Смолянинов А. Ю., Тушев А. Н., Никольский О. К. Метод оценки технического состояния электроустановок производственных объектов // Электробезопасность. 2016. №1. – С. 42-47.
4. Еремеев А. П., Троицкий В. В. Методы представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений// Известия РАН. Теория и системы управления. 2003. №5. С. 75-88.
5. Еремеев А. П., Куриленко И. Е. Темпоральные модели на основе логики ветвящегося времени в интеллектуальных системах// Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. №1. – С. 14-26.

**Качесова Л.Ю. – магистрант;**  
**Тушев Александр Николаевич – к.т.н., доцент,**  
**тел.: (3852) 290-899, e-mail: tushev51@mail.ru.**