

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСКОЛЬКИХ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ НА ЧЕЛОВЕКА

ДЗЮНДЗЮК Б.В., НАУМЕЙКО И.В., СЕРДЮК Н.Н.

Предлагается описание на содержательном уровне вероятностной модели биообъекта кумулятивного воздействия нескольких вредных факторов. Учет кумулятивных воздействий приводит к рассмотрению неклассических случайных процессов, совпадающих с цепями Маркова лишь в первом приближении

Большинство производственных процессов и, в частности, рассматриваемые здесь операции по регулировке, настройке и испытанию радиоэлектронных средств (РЭС) связаны с воздействием комплекса вредных и опасных факторов. На рабочем месте оператор РЭС подвергается не только воздействию параметров микроклимата (температура воздуха, влажность, шум и т.д.), которые изменяются во времени сравнительно медленно, но и вредному воздействию сверхвысоких частот (СВЧ) электромагнитного поля. Последнее часто более опасно, чем превышение оптимальных величин показателей микроклимата. Кратковременные воздействия СВЧ-полей, значительно превышающих предельно допустимые уровни, хорошо изучены и описаны, например, в [1]. В последние 20 лет накоплены и отражены в новых стандартах [2] знания о длительных воздействиях полей, которые принято называть вредными, в отличие от упомянутых опасных.

Данные о совместном воздействии нескольких вредных факторов, включая СВЧ, немногочисленны, крайне плохо отражены в литературе и зачастую противоречивы. Поэтому отсутствуют даже эмпирические формулы, и нормирование таких воздействий идет с большим коэффициентом запаса [3].

В настоящей работе, первой из цикла, методами системного анализа приводится содержательное описание круга задач, связанных с кумулятивным воздействием. Определяются исходные данные и класс моделей, которые в дальнейшем будут построены.

1. Факторы вредных воздействий и их основные характеристики

Хроническое воздействие микроволн пагубно влияет на нервную, сердечно-сосудистую системы; описаны изменения кроветворения, эндокринной системы, замечены повреждения органов зрения, нарушения метаболических процессов [1]. Кроме того, под воздействием СВЧ полей в тканях тела человека возникают внутренние высокочастотные токи, которые, при значительных уровнях, могут сопровождаться тепловым эффектом. Поэтому

уровень электромагнитного излучения на рабочем месте, наряду с дозой, является важнейшим фактором вредного воздействия СВЧ. Рассмотрим сначала модель, учитывающую уровни воздействия и их распределение во времени.

Пусть на человека-оператора (объект) действует n вредных факторов $d_j, j=1...n$. К вредным факторам d_j относятся как управляемые, так и неуправляемые факторы производства и окружающей среды. К управляемым факторам будем относить те, на которые можно повлиять, изменить, отрегулировать или устранить (ЭМИ, шум, пыль, температура воздуха и т.п.). К неуправляемым — неблагоприятные метеорологические условия, нервно-эмоциональное напряжение (до некоторой степени это — управляемый фактор, однако его описание относится к психологии и эргономике, поэтому остается за рамками данной работы), а также случайные факторы катастрофического характера. Оба типа факторов необходимо учитывать в модели: первый — как объект управления (в целях минимизации), второй тип, впрочем как и первый, — для оценки величины вероятного ущерба.

Появление каждого фактора характеризуется его уровнем и вероятностью p_i . В первом приближении уровень фактора имеет два значения — наличие и отсутствие. Вредные факторы действуют как независимо, т.е. вероятность их появления $p_{ij}=p_i \cdot p_j$, так и влияя на вероятность появления друг друга. Эти вероятности могут быть функциями времени, однако в данной работе, в первом приближении, считаются постоянными. Помимо этого необходимо учитывать кумулятивное свойство факторов. Кумулятивность (усиление) заключается в совместном действии нескольких вредных факторов, которое отличается (обычно больше) от суммы их действий по отдельности и не связано с вероятностью их совместного появления. Например, воздействие электромагнитного излучения на человека, заболевшего гриппом (повышенная температура тела, сниженный иммунитет), будет более вредным, чем на здорового человека, при неизменной вероятности появления факторов.

2. Выбор математической модели. Содержательный уровень

Рассмотрим человека как объект с конечным пространством состояний $S_i, i=1...k$ (“здоров”, “практически здоров”, “пограничное состояние”, “болен”, “болен с опасностью для жизни”). Переход системы из состояния S_i в состояние S_k осуществляется под влиянием случайного воздействия вредного фактора d_j . Переход может происходить в любой момент времени и осуществляется скачком. Вероятности появления вредного фактора могут быть заданы частотой λ пуассоновского потока.

Количество состояний невелико, значит, можно исследовать вероятности самих состояний, вероятности переходов и предельные вероятности, не прибегая к методам динамики средних.

В первом приближении опишем сам процесс перехода, независимо от того, когда и сколь часто произошло воздействие, вызвавшее переход из одного состояния в другое. К этой модели сводится также наиболее реальный случай, когда контроль состояний осуществляется планово, например, один раз в начале и в конце рабочего дня. Такие процессы описываются цепью Маркова с дискретным временем. Матрица переходов $P=[p_{ij}]$ как в однородном случае, при неизменных вероятностях, так и в неоднородном позволяет легко найти вероятность состояний через N шагов при известном начальном распределении $p_i^0: P^N \cdot p^0$ для однородной и $(P_i=1..N P(i))p^0$ — для неоднородной цепи.

В случае непрерывного контроля для описания перехода из состояния в состояние используем в качестве модели цепь Маркова с непрерывным временем. Для вероятностей перехода и вероятностей состояний составляется система дифференциальных уравнений Колмогорова. При составлении этих уравнений удобно пользоваться графом состояния системы, на котором около каждой стрелки между двумя состояниями проставлена вероятность перехода, в дискретном случае, или интенсивность непрерывного потока воздействий, переводящего систему из состояния в состояние по данной стрелке. Интенсивность потока событий, в первом приближении, будем считать постоянной для всех факторов. В дальнейшем будут исследованы условия эргодичности данной задачи и, следовательно, возможность получения предельных вероятностей, которые отождествляются со средним временем пребывания биообъекта в данном состоянии, например, в состоянии “здоров”.

В качестве следующего приближения рассмотрим случай, когда вероятности появления вредных факторов d_j зависимы — “беда не приходит одна”. Вероятности переходов системы из состояния S_i в состояние S_k зависят от времени t и функции распределения F_i случайного вектора вредных факторов. Каждый вредный фактор определяется не только вероятностью появления, но и “вероятностью значений”, т.е. распределением случайной величины интенсивностей. В дискретном случае для каждой компоненты существуют свои уровни градации.

Следующим этапом конкретизации задачи является учет целенаправленных мероприятий по “оздоровлению” объекта, которые описываются не толь-

ко вероятностями перехода к более высоким состояниям здоровья, но и временем, а также стоимостью такого перехода.

Модель по-прежнему является Марковской цепью, однако свойство эргодичности — сходимости к стационарному распределению, может нарушаться. В этом случае необходимо прямое компьютерное моделирование системы. На данном этапе возникает задача оптимизации затрат, подобная рассмотренной в работе [4].

Авторы рассчитывают рассмотреть описанные выше задачи в последующих статьях.

Литература: 1. Савин Б.М. Проблемы гигиенического нормирования электромагнитного излучения радиочастотных диапазонов на современном этапе // Летняя школа по неионизирующему электромагнитному излучению. Тез. докл. Прага, 1980. С.17-19. 2. Kirpilenko L.N., Naumeyko I.V. On the Modified Doze Approach to Assessment of Injury in “Man-Machine-Surroundings” System // Advances in Industrial Ergonomics and Safety VI, Edited by F.Aghazadeh, Taylor&Francis, 1994. P.141-143. 3. Ljudvichek K.V., Kirpilenko L.N., Naumeyko I.V. Information Technology as a Method of Organizational Structures and Psychological Work Environment Analysis // The 4-th International Symposium on human Factors in Organizational Design and Management (ODAM) Stockholm 1994. 4. Дзюндзюк Б.В., Наумейко И.В. Математическая модель и оптимизация защиты от биовоздействия электромагнитного излучения и сопутствующих факторов // Радиоэлектроника и информатика. 1997. №1. С.28-29.

Поступила в редколлегию 07.07.2000

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гриб О.Г.

Дзюндзюк Борис Васильевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой охраны труда ХТУРЭ. Научные интересы: электромагнитная безопасность. Увлечения и хобби: автомобиль. Адрес: Украина, 61022, Харьков, ул. Бориса Чичибабина, 2, кв.94, тел. 40-93-60, 43-10-20.

Наумейко Игорь Владимирович, канд. техн. наук. Научные интересы: математическое моделирование. Увлечения и хобби: йога. Адрес: Украина, 61120, Харьков, пр.Тракторостроителей, 65 г, кв. 90, тел. 40-93-60, 10-40-48.

Сердюк Наталья Николаевна, аспирантка кафедры охраны труда ХТУРЭ. Научные интересы: электромагнитная безопасность. Увлечения и хобби: домашние животные. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Целиноградская, 58, к.504, тел.40-93-60.