Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О. Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо»

УДК 621.31

Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах

Никольский О.К.¹, Фараносов В.В.¹, Суринский Д.О.²

1Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья

Аннотация

основе решения практических задач, направленных на снижение (предупреждение) опасностей в электроустановке (ЭУ) и их последствий должна лежать методология оценки и управления рисками, включающая в себя обоснование интегрального показателя эффективности систем безопасности с учетом необходимых затрат и предотвращенного ущерба. В настоящее время сформулирована единая научно обоснованная методология, объясняющая закономерности возникновения и развития техногенных опасностей, сущность которой базируется на так называемой энергоэнтропийной концепции.

Ключевые слова: АНТРОПОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ТЕХНОГЕННЫЕ ПОЖАРЫ, ТЕПЛОВАЯ ПЕРЕГРУЗКА, ЧЕЛОВЕКОМАШИННАЯ СИСТЕМА

Применительно к электроустановкам, к основным положениям энергоэнтропийной концепции [1, 2], не противоречащим фундаментальным законам энтропии, отнесем:

- 1. Эксплуатация электроустановок потенциально опасна, т.к. связана с электропотреблением и накоплением энергий.
- 2. Энергия электроустановки обладает свойством переходить в тепло, равномерно распределяемое среди окружающих тел, т.е. система стремится перейти в состояние максимальной энтропии, характеризуемое отсутствием энергетических потенциалов. Попытки вывести систему из состояния наибольшей степени дезорганизации требуют

Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

преодоления естественных энергетических барьеров и рассматриваются как приводящие ее в неустойчивое опасное состояние.

3. Опасность электроустановки проявляется в результате неуправляемого выброса энергии, накопленной в технологическом электрооборудовании. Выброс энергии приводит к отказам и повреждениям электроустановки, электротравматизму людей, пожарам, ухудшению экологической обстановки.

Таким образом, объектом исследования выступает система «человекэлектроустановка-среда» («Ч-ЭУ-С»), а предметом изучения — выявление природы
объективных закономерностей возникновения и предупреждения техногенных опасностей
при функционировании электроустановки.

Изложенное позволяет сформулировать основные положения системного исследования безопасности электроустановок:

- 1. Взаимосвязь человека с электроустановкой потенциальна опасна, т.к. выполнение любых технологических операций требует потребления электроэнергии.
- 2. Опасность электроустановки имманентное ее свойство, проявляющееся в возможности причинения ущерба (вреда) человеку, материальным объектам и окружающей среде при эксплуатации ЭУ.
- 3. Опасность может быть реализована при совмещении в пространстве и времени трех независимых факторов:
 - наличие электроустановки;
 - присутствие потенциальной жертвы (человека, животного);
 - создание опасной ситуации.

При этом необходимо различать два вида опасности ЭУ: реальная – существующая в данный момент времени и потенциальная, для реализации которой необходимо определенные условия. Другими словами, опасность проявляется через связь двух сторон, где в качестве субъекта (носителя) опасности выступают технологические процессы в ЭУ, ошибки, негативное влияние среды, а объектом опасности являются люди, животные, материальные объекты.

4. Человекомашинная система — совокупность трех компонентов (человек, электроустановка, среда), объединенных общей целью и функциональной средой, предназначенных для изучения и описания причинно-следственных связей, приводящих к

Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах

Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо»

возникновению опасностей. Основная цель изучения этой системы — выработка превентивных мер предупреждения негативных происшествий и снижение их последствий.

Таким электроустановок обусловлена образом, опасность естественным стремлением энтропии к постепенному или скачкообразному ухудшению свойств материального объекта из-за разрушения связей между его элементами. Ущерб ЭУ проявляется в результате ее старения и износа, формирования происшествий, которые рассматриваются как результат неконтролируемого высвобождения энергии и опасного ее воздействия на человека и среду обитания. Изложенное является основанием считать, что система Ч-ЭУ-С относится к категории нелинейных систем, ее поведение представляется слабо предсказуемым. Анализ эмпирических распределений опасных выбросов энергии показывает, что эти распределения не описываются нормальным законом, а имеет так называемые «тяжелые хвосты [3, 4]. Инициирующими или исходными событиями выбросов могут быть внутренние и внешние факторы. Внутренние факторы – отказы электроустановки и ее элементов (электрической защиты), ошибочные действия персонала и т.д. Внешние факторы опосредованно могут оказывать негативное воздействие на функционирование рассматриваемой человекомашинной системы (к ним следует отнести состояние законодательной и нормативной базы, макроэкономические показатели региона и др.).

В соответствии с рассмотренной выше концепцией представляется возможным введение обобщенного понятия безопасности электроустановки, под которой будем понимать интегрирующее свойство человекомашинной системы сохранять при ее функционировании в заданных (сложившихся) условиях такое состояние, при котором с достаточно высокой (нормативной) вероятностью исключаются опасные события и минимизируется ущерб (не превышающий допустимого уровня) от неизбежных поражающих и вредных энергетических выбросов. Заметим, что при исследовании человекомашинных систем получили широкое применение методы анализа и синтеза больших систем. Опираясь на эти методы, можно считать, что объектом системного анализа и синтеза является человекомашинная система (модель ЧМС «Ч-ЭУ-С») [5-7].

Учитывая, что понятия опасности и безопасности электроустановок являются одними из базовых, так как содержат в себе другие нечетко определенные термины и показатели, дадим некоторые пояснения:

Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо»

- опасность проявляется в процессе функционирования системы (Ч-ЭУ-С), обладающей определенными свойствами риска;
- риск рассматривается как мера опасности и характеризуется вероятностью возникновения негативного события (аварии, электротравмы, пожара и др.) и тяжестью его последствия;
- ущерб результат изменения устойчивого состояния (гомеостазиса) системы (Ч-ЭУ-С), характеризующегося утратой её целостности и ухудшением свойств компонентов из-за появления техногенных происшествий, которые повлекли за собой гибель людей, аварии, материальные ущербы и потери. Поэтому безопасность системы (Ч-ЭУ-С) будем рассматривать как свойство сохранять при её функционировании такое состояние, при котором достаточно с высокой вероятностью исключаются негативные происшествия, а ущерб от неизбежных энергетических выбросов не превышает допустимого (заданного) уровня. Отметим, что рассмотренная концепция подтверждается многолетней практикой эксплуатации электроустановок [8-10].

Рассмотрим подход к оценке техногенной опасности электроустановки (ЭУ), в основу которого положим концепцию её отказа. Суть этой концепции состоит в том, что отказ ЭУ интерпретируется как причина двух основных угроз, приводящих как к возникновению электротравмы, так и к пожару. Причем, уровень опасностей следует оценивать с помощью некоторого стохастического показателя риска R_{Σ} , позволяющего учитывать не только вероятность возникновения электротравмы или пожара, но и их последствия, т. е. ущербы. В этом случае риск опасности ЭУ в общем виде может быть представлен в случае, если имеет место n опасных событий i с различными вероятностями p_i и соответствующими ущербами y_i в течение, например, одного года.

$$R_{\Sigma} = \sum_{i}^{n} p_{i} \cdot y_{i} . \tag{1}$$

Объединим эти два основных вида опасностей как некую интегральную антропогенную угрозу, возникающую при эксплуатации электроустановки на производственном объекте. При формировании математической модели интегрального риска использовалось свойство аддитивности опасностей, позволяющее рассматривать ЭУ как источник двух равновеликих техногенных угроз. Отмеченное обстоятельство позволяет ввести обобщенное понятие «опасность электроустановки», под которым следует понимать

Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах

Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо»

сумму вероятностей двух несовместных событий — возникновения пожара или электротравмы.

Оставляя в стороне рассмотрение возникновения опасного события электротравмы, введем статистический показатель $M(\Pi)$, характеризующий математическое ожидание количества пожаров на n множестве электроустановок производственного объекта (предприятия) за время T, равное 1 году.

$$M(\Pi) = \frac{\sum_{i}^{n} p_{i}(\Pi)}{N},$$
(2)

где $p_i(\Pi)$ – вероятность возникновения пожара.

Представим интегральный риск электроустановки как

$$R_{\Sigma} = R_{\ni \Pi} + R_{\Pi},\tag{3}$$

где $R_{\rm Э\Pi}$ и $R_{\rm \Pi}$ — риски, обусловленные соответственно возникновением электропоражения и пожара. Эти риски могут быть выражены как

$$R_{\exists\Pi} = M(\exists\Pi) \cdot Y_{\exists\Pi},\tag{4}$$

$$R_{\Pi} = M(\Pi) \cdot Y_{\Pi}, \tag{5}$$

где $Y_{\ni\Pi}$ и Y_{Π} — материальные ущербы от травм или пожара.

Вероятность возникновения пожара от ЭУ с учетом рекомендаций [5] можно представить как

$$P_{\Pi} = P_{\text{A.P.}} \cdot P_{\text{H.3.}} \cdot P_{\Pi,0.3}, \tag{6}$$

где $P_{\text{A.P.}}$ – вероятность возникновения аварийного режима в ЭУ (короткое замыкание, перегрузка и др.);

 $P_{\rm H.3.}$ — вероятность неисправности или неправильного выбора (загрубления) защиты (электромагнитной, тепловой и т.д.) или его отсутствие;

 $P_{\Pi.0.3}$ — условная вероятность того, что величина пожароопасного параметра (тепловой энергии) лежит в диапазоне пожароопасных значений. Тогда полная вероятность опасности электроустановки на объекте при её обслуживании за время T в общем виде

$$M(\Pi) = \sum_{i=1}^{M} \prod_{j=1}^{N} [P_{O\Pi}(\Im\Pi)_{i,j}], \tag{7}$$

где i – фактор опасности ЭУ (пожар, электротравма и др.); j – ая ЭУ.

Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо»

Изложенное позволяет сделать вывод, что причиной возникновения пожара (или электропоражения) является наличие четкой совокупности так называемых инициирующих условий (случайных событий), возникающих на некотором отрезке реального времени. Причем, эти инициирующие условия (предпосылки) образуют темпоральную причинноследственную цепь [11, 12]. Наиболее типичной цепью для рассматриваемой ЧМС «Ч-ЭУ-С» является последовательность следующих предпосылок:

- ошибки или неправильные действия человека (персонал, население);
- отказы;
- окружающая среда.

И все же при детальном рассмотрении возможно выстроить определенные закономерности, позволяющие рассматривать возникновение антропогенных ситуаций в виде цепочки последовательных событий. При этом все виды опасностей можно рассматривать как поток случайных событий.

Анализ антропогенного риска основывается на разработке целей и способов формирования систем безопасности. При этом обязательным условием является определение необходимых затрат на решение поставленных задач.

При оценке антропогенного риска полученную расчетную величину $R_{\rm p}$ сравниваем с допустимым уровнем $R_{\rm доп}$. Допустимый уровень риска определяется критериями приемлемого риска. Для определения $R_{\rm p}$, как известно, необходима математическая модель, адекватная исследуемому объекту, и достоверные статистические данные. В случае невозможности получения количественных показателей риска могут быть использованы качественные методы, основанные на семантическом описании следующих компонентов опасного события:

- возможности его наступления (вероятности);
- длительности времени воздействия опасного фактора на объект (субъект);
- последствия, характеризуемые мерой тяжести события.

Отметим, что существенным недостатком современных подходов к анализу человекомашинных систем является отсутствие средств описания и обработки нечеткой информации, а, следовательно, и невозможность систематического накопления знаний экспертов при решении конкретных задач. Поэтому представляется своевременным создание интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решения на

Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо»

основе имитационного моделирования. [13, 14] Имитационная модель позволяет использовать всю доступную информацию вне зависимости от форм её представления и степени формализации, что приобретает особую значимость при отсутствии надёжных статистических данных и достоверных знаний об электроустановках для понимания физических процессов, происходящие на реальных объектах.

Список использованных источников:

- 1. Никольский О.К., Шлионская Ю.Д., Шаныгин И.А. Моделирование техногенных рисков электроустановок производственных объектов на основе анализа человекомашинных систем // Электротехника. 2018. № 12. С. 37–44.
- 2. Nikolsky O.K., Shlionskaya Yu.D., Gabova M.A., Kachanov A.N., Chernyshov V.A. Methodology of fire risk analysis in electrical installations of a production facility DOI: 10.1088/1757-899X/1211/1/012001 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1211 (2022) 012001.
- 3. Gabova M., Nikolsky O., Guner M. The expert system for assessing fire risks of electrical installations in the agrarian industrial complex based on neural networks // International Conference on High-Performance Computing Systems and Technologies in Scientific Research. 2021. Vol. 214. No. 114. DOI: 10.1088/1742-6596/2142/1/012005.
- 4. Udartseva O., Nikolsky O. Computer Science in Environmental Safety Research // International Science and Technology Conference on Earth Science. 2019. Vol. 414. No. 459. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042043.
- 5. Bagaev A., Kulikova L., Kunitsyn R. Influence of inclination angle of piezoelectric receiver of ultrasonic sensor on the error in measurement of the average fiber diameter // International Scientific and Practical Conference on Modern Problems of Ecology, Transport and Agricultural Technologies. 2020. Vol. 113. No. 124. DOI: 10.1088/1757-899X/941/1/012050.
- 6. Halina T., Stalnaya M., Ivanov I., Rybalkina T., Ryazanova E. Speed Regulation of Single-Phase Engines Used in Agriculture // International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering. 2018. Vol. 223-227. No. 6. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545140.
- 7. Дробязко О.Н., Куликова Л.В. Системно-вероятностное моделирование систем обеспечения электробезопасности на объектах АПК // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (208). С. 94–101.
- 8. Титов Е.В., Сошников А.А., Куликова Л.В. Оценка защитного действия многослойного экрана в электрическом поле широкого диапазона частот // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 9 (179). С. 157–162.

Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

- 9. Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О. Контроль и предотвращение пожаров от токов утечки в электроустановках производственного объекта [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2022. № 5. Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_538.pdf DOI: https://doi.org/10.51419/202125538.
- 10. Габова М.А. Оценка пожарных рисков электроустановок АПК на основе нейронных сетей // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2021. Т. 5. № 1. С. 217–221.
- 11. Никольский О.К. Модель функционирования системы техногенной безопасности электроустановок // Вестник АПК Ставрополья. 2021. № 1 (41). С. 19–23. DOI: 10/31279/2222–9345-2021-10-41-19-23.
- 12. Shirobokova T., Surinsky D., Egorov S. Modeling of led luminaires with optimal temperature operation of leds // Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling. 2021. Vol. 174. No. 529. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/5/052093.
- 13. Куликова Л.В., Суринский Д.О. Энергетический анализ производства продукции растениеводства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (96). С. 176–179.
- 14. Суринский Д.О., Карнаухов К.А. Методика расчета энергосберегающих мероприятий при защите объектов АПК от вредителей [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2022. № 3. Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_305.pdf DOI: https://doi.org/10.51419/202123305.

Цитирование:

Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О. Модели комплексной оценки антропогенной безопасности труда в человекомашинных системах [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st_330.pdf.

DOI: https://doi.org/10.51419/202133330.