

УДК 621.31

Имитационное моделирование и методы определения уровня пожарной безопасности электроустановок на объектах АПК

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

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

²*Государственный аграрный университет Северного Зауралья*

Аннотация

В настоящее время проблемы охраны здоровья и обеспечения антропогенной безопасности человека становятся актуальными. Их решение невозможно без эффективной системы контроля окружающей среды и прогнозирования ее динамики. Особенность такой системы состоит в пространственной неоднородности и временной нестационарности присущих ей закономерностей, порождающих сложность и неопределенность изучаемой человекомашиной системы. В статье рассматриваются две взаимосвязанные задачи: 1. Обобщение основных положений имитационного моделирования как методологии исследования сложных человекомашиных систем при априорной неопределенности; 2. Методы определения уровня пожарной безопасности электроустановок на объектах АПК.

Ключевые слова: ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ЧЕЛОВЕКОМАШИНАЯ СИСТЕМА

Особенностью рассматриваемой системы является наличие тесного взаимодействия (энергетического, информационного, пространственного и временного) с внешней средой, под воздействием которой система может изменить свою структуру и функциональные свойства, т.е. адаптироваться к новым условиям. К основным этапам имитационного моделирования отнесем:

1. Постановку задачи и определение объекта моделирования.
2. Разработку концептуальной модели и выявление основных элементов антропогенной человекомашиной системы (ЧМС) и их взаимодействие.

3. Формализацию, т.е. переход к математическим моделям, создание алгоритма и программного обеспечения.

4. Планирование и проведение компьютерных экспериментов.

5. Анализ полученных результатов.

Таким образом, имитационный метод позволяет построить математическую модель, описывающую антропогенную безопасность электроустановки, не прибегая к экспериментам на реальном объекте [1-3].

Закономерности развития человекомашинных систем являются определяющими при формировании принимаемых решений. Возникающие при этом проблемы сопряжены с гетерогенным, нестационарным и стохастическим характером ЧМС, что формирует значительный уровень априорной неопределенности при построении математической модели.

Основу исследования антропогенных систем составляют методы декомпозиции и упрощения путем введения абстрактной структуры вместо реально существующих ЧМС. К таким структурам относятся, в частности, «мягкие» системы, описываемые на основе качественных критериев и используемых для анализа слабоструктурированных ЧМС [4-6].

Для преодоления априорной неопределенности структура имитационной модели предполагает использование экспертных оценок, для конкретных условий определяется уровнем исходной информации, что может служить основой классификации методов имитационного моделирования.

Разнообразие условий исследования сложных систем обусловило появление множества методов моделирования, среди которых можно выделить аналитический и имитационный. Наиболее формализованными с математической точки зрения являются аналитические модели, при построении которых, как правило, абстрагируются от закономерностей реальной системы. Подобная идеализация сопровождается рядом допущений и придает аналитической модели обобщающий характер.

Моделирование человекомашинных систем является трудно формализуемым процессом, в значительной степени определяющимся уровнем исходной информации. По мере усложнения системы и увеличения априорной неопределенности возникает необходимость создания специализированных методов анализа, к которым относятся имитационные модели. Становление и развитие имитационного моделирования

объясняется отсутствием ограничений при математическом описании структуры ЧМС и возможности изучения их динамических режимов в многомерном пространстве параметров.

Понятие «имитационное моделирование» обычно связывают с процессом построения математической модели системы и использованием ее в машинном эксперименте для статистической оценки показателей эффективности. Кроме того, имитационное моделирование не исключает применения в процессе вычислительного эксперимента аналитических моделей при неполной информации о начальном состоянии системы и ее входных воздействиях.

Несмотря на универсальный характер имитационного моделирования применение ее методологии целесообразно в следующих случаях [7-9]:

- при наличии математической модели условия ее исследования (начальное состояние, входные переменные и параметры структуры) определяются вероятностными законами распределения;
- при необходимости проведения многовариантных расчетов ЧМС;
- при исследовании систем большой сложности, экспериментирование с которыми невозможно или требует больших материальных затрат.

Под имитацией ЧМС условимся понимать организацию вычислительного эксперимента, обеспечивающего логическую взаимосвязь свойств системы в соответствии с реальностью изучаемого процесса и условий его исследования с целью получения информации об интегральных показателях, характеризующих системы в целом.

На рис. 1 приведена структурная схема имитационной модели (ИМ), описывающая процесс зарождения и развития опасной антропогенной ситуации (ОАС).

Имитационная модель в общем виде представляет собой стохастическую сеть, в которой инициирующие события и соответствующие предпосылки носят случайный характер. Основание этой сети составляют компоненты человекомашинной системы (Ч-ЭУ-С), которые генерируют рискообразующие факторы. Например, электротехнический персонал при производстве определенных видов работы формирует мыслительный алгоритм выполненных тех или иных действий (операций).

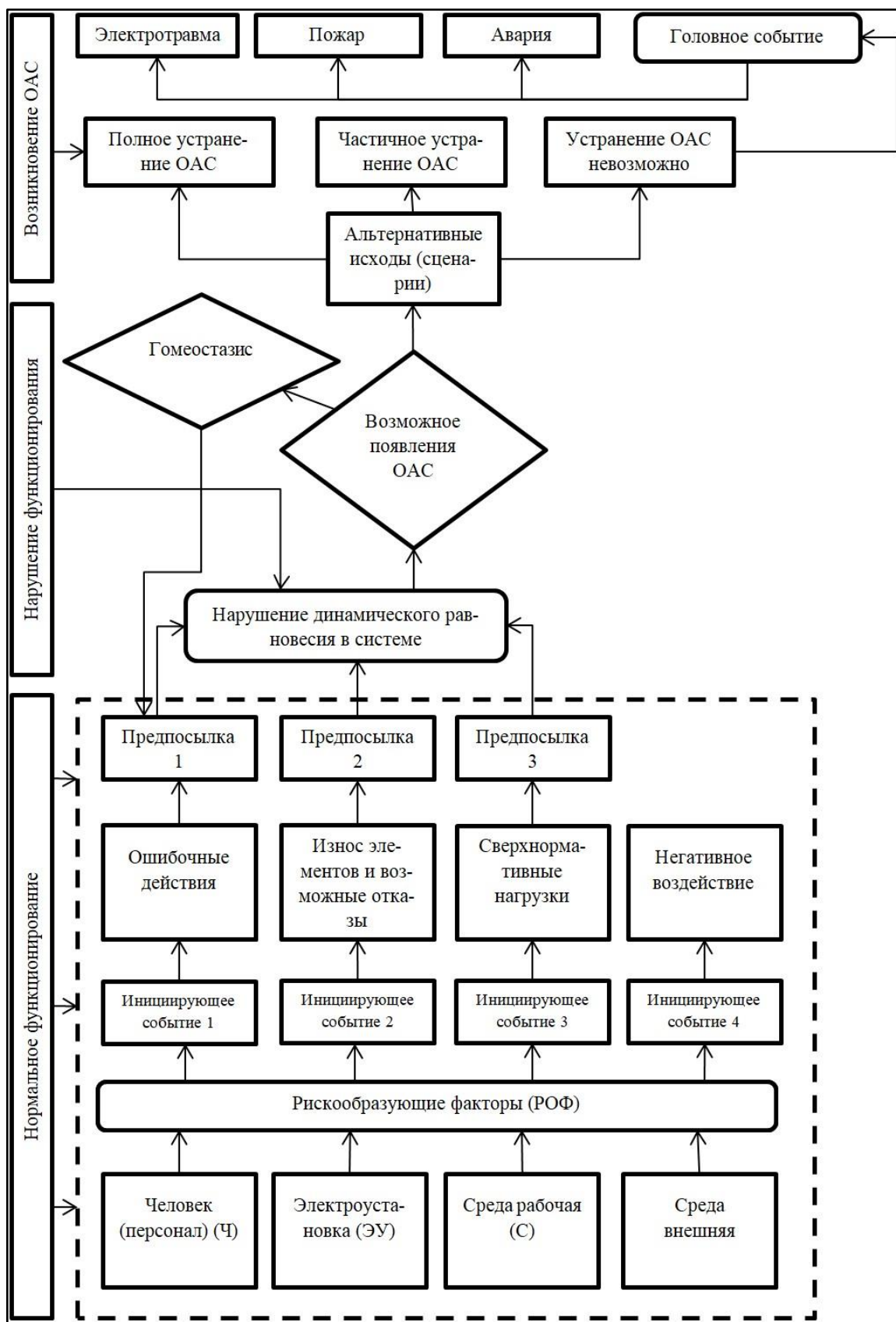


Рис. 1. Имитационная модель человеко-машинной системы (Ч-ЭУ-С)

Однако, в силу ряда причин, этот алгоритм может быть неадекватен в отличии от действительной объективной информации о состоянии выполненных работ, причем это несоответствие может им не восприниматься. В первом случае, ожидаемая информация идентична действительной, персонал адекватно реагирует и последующие его действия являются правильными. Во втором случае, неадекватное восприятие действительной информации вносит оператором определенные искажения. Последние вызывают возмущение в системе, что приводит к нарушению в ней равновесия. Возникающие при этом альтернативные сценарии могут вызвать полное или частичное устранение возникшей опасности или невозможность ее устранения, а, следовательно, и предупреждение последствий (аварии, электротравмы или пожара). Таким образом, с помощью ИМ представляется возможным установить причинно-следственные связи между переменными (факторами), характеризующими «входы» и «выходы», т.е. результат, представленный в виде расчетного значения интегрального риска исследуемого объекта.

Рассмотрим механизмы управления пожарной безопасности электроустановок.

Анализируя причины несчастных случаев, можно сделать вывод, что примерно треть из них происходит из-за человеческого фактора. Основными факторами выступает нарушение правил техники безопасности электроустановок, что незамедлительно приводит к возникновению опасных антропогенных ситуаций в процессе выполнения работ.

Отношение человека к техногенной опасности колеблется в широком диапазоне. Люди готовы во имя определенных целей идти на определенные серьезные риски и в то же время могут проявлять крайнюю степень осторожности. Однако главным стремлением человека является удовлетворение различного вида потребностей, повышение жизнеспособности путем увеличения продолжительности жизни и повышения ее качества (рис. 2).

Здесь весьма важными являются биологические особенности работника, включающие в себя функциональные изменения в организме, хронические заболевания, анатомию, физиологию и другие, располагающие к несчастным случаям, факторы. Опасные антропогенные ситуации также могут возникать в результате утомления работника и снижения работоспособности вследствие увеличения рабочего времени [10-

12].

Психологические процессы, обуславливаемые перегрузками, способствуют появлению ошибочных действий при выполнении работ.

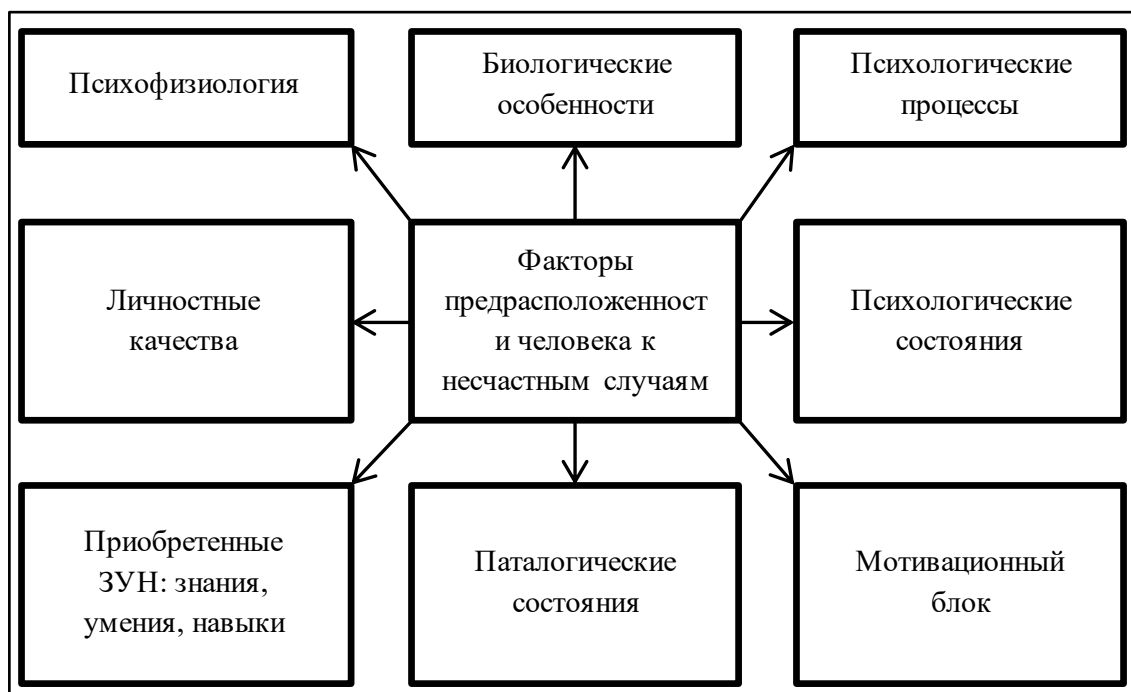


Рис. 2. Факторы предрасположенности человека к несчастным случаям

Человек, работающий в обстановке постоянного стресса, наиболее склонен к ошибкам при обслуживании и эксплуатации электроустановок.

Психофизиология представляет собой психомоторику, память, внимание. Эти характеристики могут выступать в качестве индивидуальных особенностей работника наряду с его личностными качествами, характеризующиеся добросовестностью или халатностью при выполнении должностных обязанностей. Непосредственно из этого вытекает еще один немаловажный признак, который определяет качество и безопасность работ.

Данный признак выступает в форме приобретенных знаний, умений и навыков (рис. 2). Если коснуться статистики, то можно установить, что большинство несчастных случаев происходит в первые годы работы. Связано это с низким уровнем профессионализма. Однако имеется тенденция к снижению количества аварий. В свою очередь повышение аварийности наблюдается с увеличением опыта работы за пределы 15

и более лет, что вызвано упомянутыми психологическими процессами. Уровень знаний в данном случае не влияет на безопасное проведение работ; определяющим фактором здесь является уверенность в своих действиях, что и влечет за собой определенные нарушения. Это своего рода адаптация к опасности, вследствие которой в сознании формируется мнение о безопасности труда.

Мотивационный блок выступает в виде стремления к улучшению условий труда и повышению статуса в трудовом коллективе. Зачастую все эти действия связаны с выполнением работ в условиях повышенной опасности.

Безопасность работ персонала на объектах предприятия обуславливается вероятностью правильного выполнения технологических операций. Ошибки человека в данном случае представляют собой нарушения правил техники электробезопасности. Согласно статистике, более 40% отказов электрооборудования связано с человеческим фактором. Поэтому оценка безопасности электроустановок без учета влияния человека не является достоверной.

На основании вышеизложенного можно перечислить ряд ошибок персонала, которые приводят к аварийным ситуациям, начиная с этапа проектирования и заканчивая непосредственно эксплуатацией электротехнического оборудования (рис. 3).

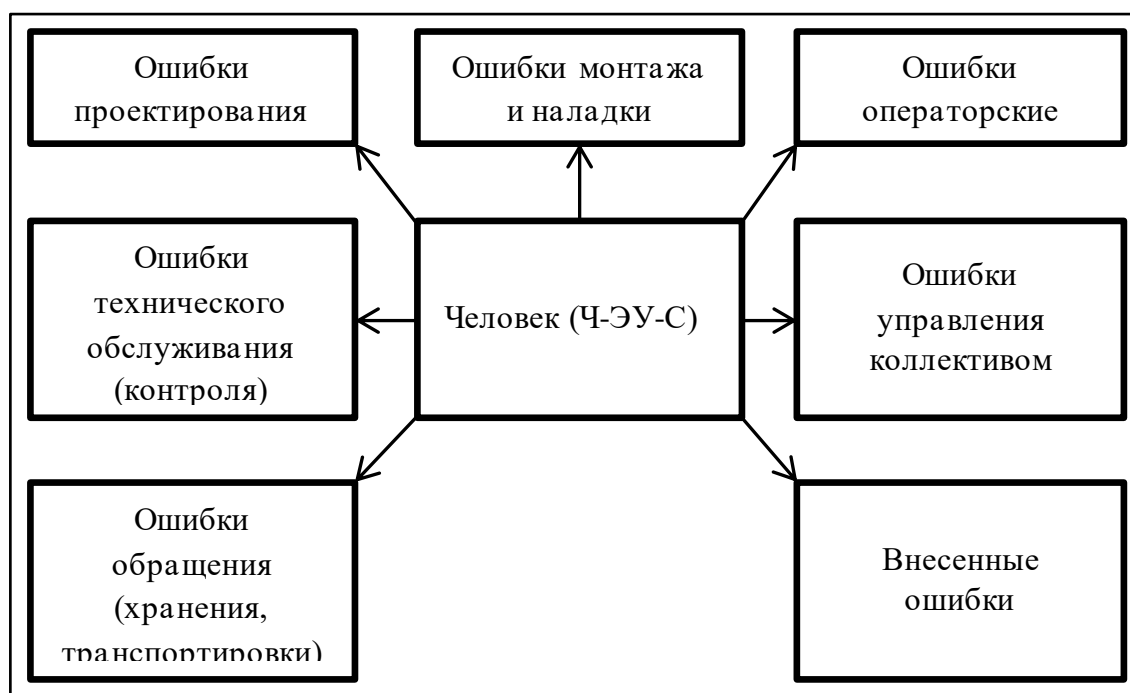


Рис. 3. Классификация ошибок персонала

В данном случае персонал выступает индикатором формирования рискообразующих факторов, заключающихся в ошибочных действиях, отсутствии контроля за технологическим процессом на производстве, нарушении техники безопасности, определяемой нормативно-технической документацией, низким уровне квалификации, что в свою очередь обуславливается отсутствием навыка при выполнении должностных обязанностей и т.п.

Исследование систем безопасности электроустановок требует разработки определенных алгоритмов, способствующих снижению влияния рискообразующих факторов. В результате этого контроль и управление рисками реальных производственных объектов становится наиболее актуальным.

Рассмотрим методологию определения уровня электропожаробезопасности.

Пожарная опасность электроустановки определяется вероятностью возникновения пожара, обусловленного загоранием ее элементов (конструкционных материалов и веществ), находящихся в зоне ее радиационного излучения, или поражения электрической дугой при характерном пожароопасном режиме. Условимся понимать под характерным пожароопасным режимом электроустановки такой режим, который может быть вызван либо током короткого замыкания или электрической дугой, либо перегрузкой в сети, либо токами утечки, превышающими допустимое предельное значение. При таком режиме нарушается соответствие номинальных параметров и нормальных условий эксплуатации установки (или ее элементов), приводящие к выходу из строя и создающие угрозу возникновения пожара и электропоражения.

Пожарная безопасность электроустановок должна обеспечиваться системой предотвращения пожара путем применения в ее конструкции быстродействующих (с временем срабатывания не более 0,05 с) устройств для отключения возможных источников воспламенения.

Для объективной оценки степени пожарной опасности (или безопасности) электроустановки будем исходить из того, что каждый пожар возникает в результате воздействия множества факторов (в ряде случаев, не поддающихся точному учету). Поэтому такой пожар с полным основанием может рассматриваться как случайное событие, а, следовательно, количественной мерой этого события должна быть вероятность.

Под уровнем пожарной опасности $U_{по}$ (здесь и далее рассматриваются пожары, обусловленные электрическим током) понимается вероятность возникновения пожара данного объекта, принадлежащего к определенному (однородному) множеству объектов N за время T , принимаемое обычно равным году. Учитывая, что показатель $U_{по}$ является случайной величиной с неизвестным законом распределения, ограничимся оценкой основной числовой характеристики - математическим ожиданием $M(U_{по})$. Причем величина $M(U_{по})$ связана с математическим ожиданием уровня пожаробезопасности $M(U_{пб})$ противоположного события соотношением

$$M(U_{по}) = 1 - M(U_{пб}). \quad (1)$$

Возникновение пожара в общем виде можно представить в виде некоторой стохастической модели перехода системы из одного состояния в другое.

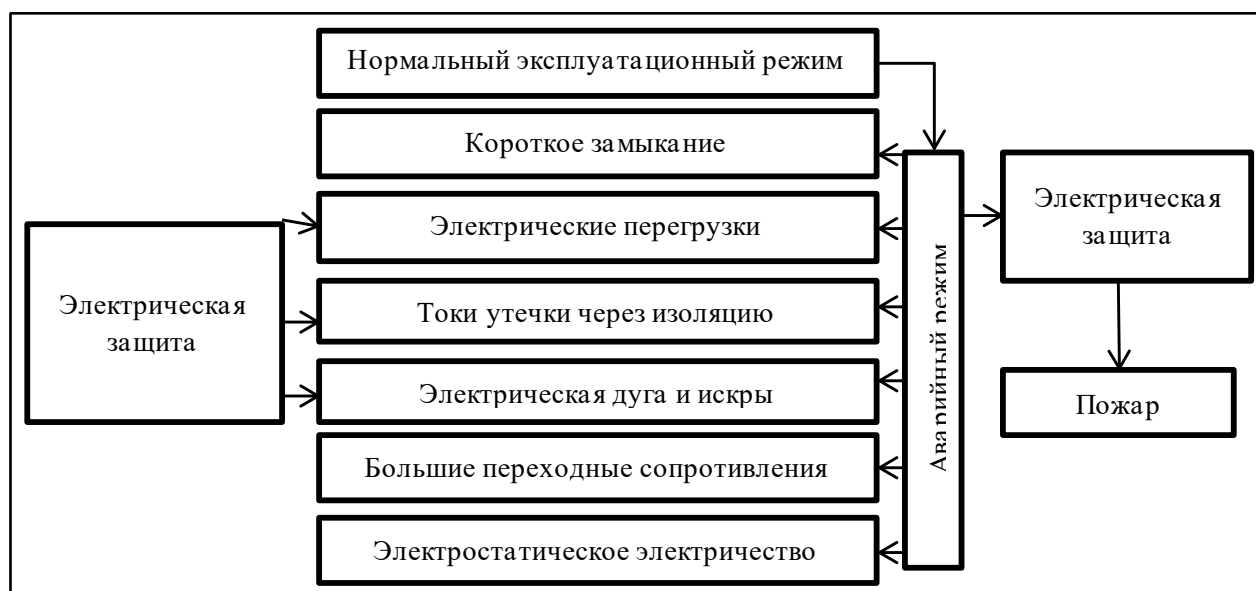


Рис. 4. Модель развития пожара в электроустановке

При этом возникновение пожара в электроустановке, принадлежащей к однородному множеству электроустановок M за время T , можно выразить в виде суммы трех несовместимых событий.

Рассмотрим событие Π , возникновение пожара в j -ой электроустановке, принадлежащей к однородному множеству электроустановок M за время T .

Представим это событие в виде суммы трех несовместимых событий

$$\Pi = \Pi_{э1} + \Pi_{э2} + \Pi_{э3}, \quad (2)$$

где $P_{\text{Э1}}$ - пожар, вызванный током короткого замыкания (в т.ч. замыкание на корпус и землю);

$P_{\text{Э2}}$ - пожар, вызванный перегрузками в сетях, электропроводках и электроприемниках;

$P_{\text{Э3}}$ - пожар, вызванный током утечки через изоляцию на землю.

Введем следующие допущения:

- считаем, что пожар может возникнуть только при появлении одного из трех событий;

- пожары, вызванные большим переходным сопротивлением, дугой и электростатическим электричеством, не рассматриваются;

- рассматриваются все виды короткого замыкания.

Событие $P_{\text{Э2}}$ может произойти при одновременном совпадении следующих событий:

A_1 , - короткое замыкание;

B_1 , - электрическая защита не сработала (из-за повреждения) или сработала за время, превышающее допустимое, вызвавшее воспламенение изоляции проводки или электроприемника;

C_1 , - воспламенение изоляции, вызванное выделившейся мощностью электрической сети.

Итак, считаем, что

$$P_{\text{Э1}} = A_1 * B_1 * C_1 \quad (3)$$

При введении вероятности получим следующее выражение

$$P(P_{\text{Э1}}) = P(A_1) * P(B_1) * P(C_1), \quad (4)$$

где $P(P_{\text{Э1}})$, $P(A_1)$, $P(B_1)$, $P(C_1)$ - вероятности событий $P_{\text{Э1}}$, A_1 , B_1 , C_1 соответственно.

Событие $P_{\text{Э2}}$ может произойти при совместном совпадении трех независимых событий:

A_2 - перегрузка в электрической сети;

B_2 - несрабатывание (или превышение времени срабатывания) электрической защиты;

C_2 - воспламенение изоляции, вызванное током перегрузки.

$$P(P_{э2}) = A_2 * B_2 * C_2 \quad (5)$$

При введении вероятности получим следующее выражение

$$P(P_{э2}) = P(A_2) * P(B_2) * P(C_2). \quad (6)$$

Аналогично можно представить событие $P_{э3}$ как

$$P_{э3} = A_3 * B_3 * C_3. \quad (7)$$

При введении вероятности получим следующее выражение

$$P(P_{э3}) = P(A_3) * P(B_3) * P(C_3). \quad (8)$$

Тогда полную вероятность возникновения пожара, обусловленного электротехническими причинами j -ой электроустановки, можно определить с помощью следующего выражения

$$P(ПО)_j = P(A_1) * P(B_1) * P(C_1) + P(A_2) * P(B_2) * P(C_2) + P(A_3) * P(B_3) * P(C_3). \quad (9)$$

Следовательно, вероятность пожароопасности любого объекта будем рассматривать как сумму произведений вероятностей отдельных элементарных событий $(ПО)_{ij}$.

Выводы

1. Механизм формирования пожарного риска опасности электроустановок может быть представлен в виде имитационной модели, устанавливающей взаимодействия компонентов человекомашиной системы (персонала, электроустановки и среды), между которыми с помощью нейронных сетей строятся информационные и энергетические связи.

2. Разработаны методические рекомендации «Оценка и управление пожарными рисками опасности электроустановок на предприятиях АПК», принятых Минсельхозом и Главным управлением МЧС по Алтайскому краю для практического использования.

Список использованных источников:

1. 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](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2142/1/012005).

2. 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](https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/4/042043).

3. 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. – V. 113. - No. 124. DOI: [10.1088/1757-899X/941/1/012050](https://doi.org/10.1088/1757-899X/941/1/012050).

4. 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](https://doi.org/10.1109/APEIE.2018.8545140).

5. 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.

6. 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.

7. Никольский О.К., 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>.

8. Габова М.А. Оценка пожарных рисков электроустановок АПК на основе нейронных сетей // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. - 2021. - Т. 5. - № 1. - С. 217–221.

9. Никольский О.К. Модель функционирования системы техногенной безопасности электроустановок // Вестник АПК Ставрополя. - 2021. - № 1(41). - С. 19–23. DOI: [10/31279/2222-9345-2021-10-41-19-23](https://doi.org/10.31279/2222-9345-2021-10-41-19-23).

10. 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](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/5/052093).

11. Куликова Л.В. Энергетический анализ производства продукции растениеводства / Л.В. Куликова, Д.О. Суринский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2022. - № 4 (96). - С. 176–179.

12. Суринский Д.О. 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>.

Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О., Усков Е.В. Имитационное моделирование и методы определения уровня пожарной безопасности электроустановок на объектах АПК

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Цитирование:

Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О., Усков Е.В. Имитационное моделирование и методы определения уровня пожарной безопасности электроустановок на объектах АПК [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/1/st_102.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202141102>.