

5. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
6. <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=106022>
7. <http://www.sudmed.ru/index.php?act=Attach&id=7010&type=post>

УДК 628 Н766

**Факторы пожара для построения систем обнаружения пожароопасного состояния***Дашковский А.Г., Панин В.Ф., Шмойлов А.В.**(Национальный исследовательский Томский политехнический университет)**E-mail: [vfpd@tpu.ru](mailto:vfpd@tpu.ru)*

Пожар в своем развитии проходит до семи стадий. Регистрация факторов высокой стадийности (высокие температура среды, содержание CO<sub>2</sub> и т.п.) означает регистрацию собственно пожара, низкой стадийности (газы термической деструкции материалов, дымы и т.п.) – пожароопасной ситуации.

Понижение стадийности регистрируемого фактора приводит к построению, в сущности, тревожных, т.е. противопожарных профилактико-диагностических систем. Решения таких систем должны анализироваться дополнительно. С развитием электронной техники стадийность используемых для обнаружения факторов пожарных ситуаций, в целом, понижается. Для каждого объекта контроля необходимо выявление оптимального фактора. В частности, по многим характеристикам оптимальным фактором для летательных аппаратов являются дымы, их ТВ-изображения.

**Ключевые слова:** пожар, стадии пожара, факторы пожароопасного состояния (ситуации), факторы пожара, оптимальные факторы пожароопасного состояния, ТВ-изображения, профилактико-диагностические системы.

**Введение**

В общем случае развитие пожара (П) до неуправляемого состояния проходит до семи стадий [1]. Ранние низкие стадии развития П можно определить как пожароопасное состояние, пожароопасную ситуацию, такое состояние по разным обстоятельствам может не развиваться в П.

Обычно к первой стадии относят [1] поступление в атмосферу контролируемого помещения горючих газов – из-за неисправности газовых магистралей и т.п., регистрация ПС осуществляется посредством газовых датчиков.

Вторая стадия развития П связана с повышением температуры поверхностей элементов конструкций оборудования и аппаратуры, увеличением интенсивности ИК-излучения, поступлением в атмосферу парогазовых продуктов термической деструкции неметаллических: конструкционных, изоляционных, декоративных и т.п. материалов. Ввиду малых концентраций парогазовых продуктов термолитиза на данной стадии превалирует конденсационный механизм образования аэрозолей с частицами размером  $10^{-2} - 10^{-1}$  мкм, подобные аэрозоли большей частью визуально не наблюдаются.

Третья стадия связана с дальнейшим повышением температур прогрева неметаллических материалов и соответствующим увеличением плотностей потоков парогазовых продуктов термического (термо-окислительного) разложения материалов. При этом наряду с конденсацией паровых продуктов термолитиза имеет место коагуляция начальных конденсационных частиц, в результате чего спектр аэрозольных частиц расширяется в сторону частиц больших размеров. Таким образом, на третьей стадии аэрозоли термодеструкции оптически активны и, как правило, наблюдаются визуально.

Последующие стадии связаны с возникновением свечения очага возгорания, формированием пламени, образованием значительных количеств углекислого газа, повышением температуры воздуха среды и т.д. и т.п. и, как правило, характеризуются большей вероятностью развития процесса до состояния пожара, чем указанные начальные стадии его развития. Все методы обнаружения П строятся на основе регистрации параметров физических явлений (факторов, признаков пожароопасности), сопровождающих разные стадии развития.

Итак, регистрация факторов ранних стадий (утечка горючих газов, повышение температуры и ИК-радиации поверхностей оборудования, дымообразование и т.д.) относят, как

отмечено выше, к обнаружению ПС, а обнаружение факторов поздних стадий, как правило, – к обнаружению П.

При построении систем обнаружения и сигнализации о пожароопасном состоянии контролируемого объекта естественно стремление к обнаружению низких стадий развития П – к обнаружению ПС.

#### Об оптимальном факторе пожара для построения устройств обнаружения пожароопасной ситуации

Однако уменьшение стадийности регистрируемого фактора приводит к возрастанию неопределенности оценки степени пожароопасности. Это понятно, поскольку понижение стадийности фактора есть приближение к нормальному состоянию контролируемого объекта, а состояние, сколько угодно близкое к нормальному, характеризуется сколько угодно малой вероятностью пожароопасности (ПО). Последнее означает, что достижение каким-либо фактором низкой стадийности порогового уровня отнюдь не означает 100 % вероятность развития пожара после данного события. При этом фиксируется лишь некоторая, предполагаемая ПС, которую необходимо ещё обследовать, чтобы сделать выводы и осуществить необходимые защитные мероприятия.

Фактически понижение стадийности регистрируемого фактора приводит к возрастанию вероятности ложных действий устройства обнаружения, если любое устройство регистрации фактора рассматривать с точки зрения задач надежного обнаружения П. Под устройством обнаружения П мы понимаем традиционную систему каких-либо датчиков, в которой для «обнаружения» П достаточно превышение порога сигналом хотя бы одного из датчиков.

Скорее всего, такие устройства следует определить как устройства профилактики П или диагностики ПС.

Изложенное характеризует лишь одну сторону проблемы построения устройств раннего обнаружения П на основе регистрации факторов пониженной стадийности – уменьшается вероятность обнаружения ситуации, которая действительно пожароопасна.

Другая трудность заключается в том, что при одном и том же уровне фактора, соответствующего некоторой стадии развития П, возможны и пожароопасная, и пожаробезопасная ситуация. Эта трудность проистекает из того, что уровень (интенсивность) фактора связан с фактом реальной пожароопасности статистически, т.к. режимы работы объекта в общем случае чрезвычайно многообразны и во времени реализуются случайным образом.

Поясним последнее на примере. Положим какой-либо объект в течение длительного времени контролируется в части температур участков оборудования и приборов в различных, в том числе, в аварийных режимах работы, связанных с реальной ПС. Далее, по набранной статистике определяются минимальные уровни пожароопасных температур и соответствующие им пороговые уставки для температурных датчиков системы обнаружения ПС. Казалось бы, теперь система может предупредить возникновение П, сигнализируя о возникновении ПС. Однако в большом числе случаев действие (срабатывание) системы не означает возникновения ПС, т.е. оказывается ложным. Более того, в объекте, особенно сложном, возможны такие аварийные ситуации, неучтенные при обследовании, при которых ПС возникает и быстро необратимо развивается до П при температурах, меньших, чем пороговые, т.е. имеет место пропуск и ПС, и П.

При увеличении порога системы уменьшается вероятность ложных срабатываний и возрастает вероятность пропуска ПС.

Значит, для факторов низкой стадийности в определенном интервале их значений имеет место «нахлест» пожаробезопасных и пожароопасных режимов (рис. 1) предопределяющий неоднозначность действия таких систем.

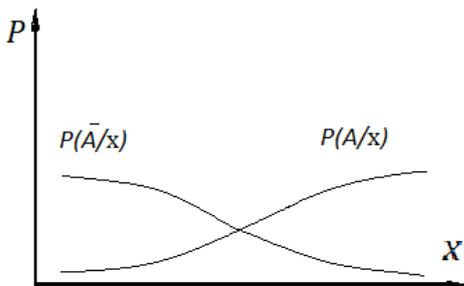


Рис.1. «Нахлест» пожаробезопасных и пожароопасных режимов:  $P(\bar{A}/x)$  – вероятность пожаробезопасных режимов;  $P(A/x)$  – вероятность пожароопасных режимов;  $x$  – фактор ПС

Ложное действие и пропуск ПС в равной мере снижают эффективность действия систем. Эффективность ( $\varepsilon$ ) системы можно определить так:

$$\mathcal{E} = \frac{P(A) - L - P_p}{P(A)}$$

где  $P(A)$  – вероятность ПС;  $L$  – вероятность ложного действия системы;  $P_p$  – вероятность пропуска ПС.

Очевидно, с учетом изложенного выше, что существует оптимальное пороговое значение фактора низкой стадийности, при котором величина  $\mathcal{E}$  максимальна. Зависимость  $\mathcal{E}$  от величины порога имеет форму, представленную на рис.2, т.е. величина  $\mathcal{E}$  даже в максимуме не превосходит 23 – 24 %, а с учетом того, что она весьма критична к порогу, фактическая величина  $\mathcal{E}$  гораздо ниже, что подтверждается статистикой правильных и неправильных действий подобных систем.

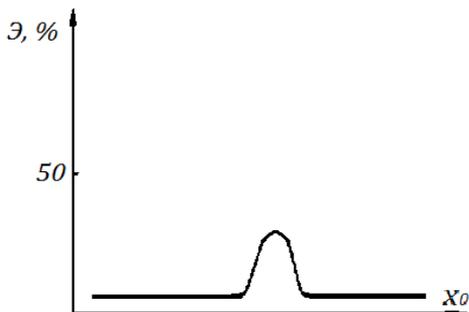


Рис.2. Зависимость эффективности обнаружения ПС традиционными системами от пороговой установки регистрируемого фактора  $x_0$

Сказанное выше применительно к регистрации факторов низкой стадийности (к регистрации ПС) равным образом относится к регистрации факторов высокой стадийности (к регистрации собственно П): то же влияние величины порога на вероятность ложного действия и пропуска П, тот же характер зависимости величины  $\mathcal{E}$  от величины порога и т.п.

Для простоты рассуждений допустим, что найдены методы и средства устранения ущерба описанных систем, и они работают со 100 % -й величиной  $\mathcal{E}$ . Это означает, что система, построенная на регистрации фактора, сопутствующего некоторой стадии, со 100 % -й вероятностью обнаруживает именно данную стадию развития пожароопасного процесса. Но, как отмечалось ранее, чем ниже стадийность фактора, тем менее вероятно, что зафиксированное состояние действительно пожароопасно: действительно ли из него разовьётся П?

Поэтому чрезвычайно важно определить оптимальную стадию пожароопасного процесса и, соответственно, оптимальный фактор. Последний определяется, в частности, и характером объекта, и условиями регистрации.

Там, где ценность контролируемого объекта и особенности его эксплуатации допускают профилактико-диагностические процедуры анализа решений систем автоматического контроля ПС, по-видимому, допустимо использование факторов низкой стадийности, особенно, если характер объекта предполагает необходимость качественного контроля параметров его состояния из соображений производственной санитарии (когда сам регистрируемый фактор является одновременно и вредным производственным фактором, например, некоторые пороговые продукты термодеструкции материалов).

Если объект необитаем, то осуществление профилактико-диагностических процедур сопряжено со значительными трудностями. Эти же трудности легко предвидеть и в случае обитаемого объекта: при использовании фактора весьма низкой стадийности (начальные газовые продукты термодеструкции, температуры перегревов, ИК-излучение и т.п.) процедура анализа решений системы обнаружения ПС может занять значительное место в работе персонала. Это едва ли приемлемо: реальная ПС – исключительная, маловероятная ситуация, и значительные издержки на указанные процедуры едва ли оправданы.

Таким образом, упомянутые процедуры необходимо переводить на вычислительную технику, в алгоритм работы которой должны быть включены обращения к дополнительной информации (для анализа решения системы), которую должен был бы получить оператор при осмотре места локализации предполагаемой ПС. В алгоритме должна быть, по-видимому, отражена и возможность оценки качества развития ситуации после фиксации предполагаемой ПС.

Как видно, использование факторов низкой стадийности влечет за собой усложнение систем обнаружения ПС, которые также не всегда могут быть приемлемы.

Можно сказать, что технический прогресс позволяет реализовать естественную тенденцию к использованию факторов низкой стадийности, причем каждому этапу развития преобразовательной техники соответствует оптимальный фактор или группа факторов.

Ретроспективный взгляд на развитие средств пожаробнаружения и сигнализации в целом подтверждает изложенную трактовку направления их развития.

Достаточно сказать, что первые пожарные датчики, извещатели о П, строились на элементах, чувствительных к фактору поздних стадий – на повышение температуры контролируемой среды (легкоплавкие сплавы, биметаллические пластины и т.п.). С развитием полупроводниковых приемников оптического излучения появились датчики, реагирующие на свечение пламени. Развитие средств газоаналитического приборостроения поставило в повестку дня использование газоанализаторов CO<sub>2</sub>. В настоящее время интенсивно осваивается «очередная» стадия развития ПС – стадия дымообразования. Известны также примеры построения или попытки построения систем обнаружения ПС на основе регистрации факторов второй стадии развития П: относительно небольших перегревов, увеличение интенсивности ИК-излучения, поступление в атмосферу небольших концентраций газов термодеструкции.

Принципы построения, конструкции и характеристики элементов, чувствительных к разным факторам, устройств и систем обнаружения П и ПС описаны в большом числе источников, начиная с работ 1960-х гг. прошлого столетия [2–5], заканчивая такими работами, как [6–8].

Для специфических объектов транспорта, таких как летательные аппараты (ЛА), регистрация П неприемлема: слишком запоздалой будет регистрация заметного повышения температуры среды, наличия значительных количеств CO<sub>2</sub>, пламени, светящегося очага. Надежная же регистрация дымов, субмикронного аэрозоля или газов термодеструкционного происхождения, ненормального возрастания температур и тепловой радиации на отдельных участках оборудования и аппаратуры означает, как отмечалось выше, обнаружение ПС, в которой пожароопасный процесс еще управляем.

В указанном спектре факторов дым, будучи фактором ПС, ближе других к П и, следовательно, его определение связано с П. С учетом изложенного выше использование фактора дыма предполагает наименьший, по сравнению с другими факторами, объем дополнительных профилактико-диагностических процедур и уже потому представляется предпочтительным из всех факторов низкой стадийности. Кроме того, фактор дыма применительно к ЛА обладает существенным достоинством: его можно регистрировать относительно небольшим числом датчиков, поскольку дым циркулирует по всему объёму ЛА в вентиляционном потоке (как и аэрозоли и газы термодеструкции). Для контроля же радиации и температур поверхностей и аппаратуры, даже на самых ответственных участках, требуется неизмеримо большее число температурных и радиационных датчиков.

Изложенный материал предопределяет преимущественный интерес к регистрации дымов как основе построения устройств надежного обнаружения ПС.

#### **О некоторых результатах исследований и разработок в области раннего обнаружения**

##### **ПС за рубежом в 2002-2013 гг.**

Изложенная логика построения систем обнаружения ПС, предопределённая, в сущности, работами, подобными [1], сохраняется до настоящего времени. Так, в [9,10] представляются описания устройств раннего обнаружения ПС, по признакам второй стадии развития ПС (повышение температуры и интенсивности ИК-излучения в месте потенциального очага возгорания), в [11–15] – по признаку третьей стадии развития ПС (дымы). Впрочем, в отдельных случаях термин «раннее обнаружение пожара» применяется и в отношении систем, построенных на основе регистрации признаков более поздних стадий развития П: в [16–18] «раннее обнаружение П» основывается на устройствах обнаружения открытого пламени, например, по характеристикам мерцания и перемещения пламени, [17], в [19] – на основе регистрации содержания CO в контролируемой среде. В [20] обсуждается разработанный в Японии алмазный датчик для регистрации ультрафиолетового излучения из потенциального очага пожара до того, как огонь и дым достигнут опасных уровней.

В [21] сообщается о системах обнаружения П, в которых после регистрации задымленности интеллектуальные системы управления работой инженерного оборудования в автоматическом режиме оповещают противопожарную службу, в которой обнаружение пламени производится с использованием замкнутой телевизионной (ТВ) – системы с последующей передачей изображения на диспетчерский пункт противопожарной службы. Эти мероприятия можно рассматривать как упомянутые профилактико-диагностические процедуры, позволяющие уточнить последующую траекторию развития ПС. В [22] предложен многоуровневый подход к разработке автоматизированной системы пожарной сигнализации на основе технологии обработки ТВ – изображений. В ходе высокоскоростного сканирования контролируемого пространства выделяются сначала области, с высокой вероятностью содержащие изображение горящих объектов. Затем отслеживаются области с колориметрическими характеристиками,

соответствующими красному цвету. Применением нейронной сети обеспечивается выделение горящих и не горящих областей.

Вместе с тем, все явственнее обозначается тенденция использования в устройствах сигнализации обнаружения П комплекса признаков П – признаков и ранних, и поздних стадий его развития. Использование признаков поздних стадий призвано снять известную неопределенность в дальнейшем развитии П после того, как обнаружены признаки ранних стадий, например, повышение температуры или задымленность.

Так, уже в 2004 г. в [23] даётся обзор всего спектра систем сигнализации о П, начиная с систем на основе регистрации одной из начальных стадий, например, стадии дымообразования, заканчивая обнаружителями пламени по ИК – и УФ – излучениям, а также системами с использованием комплексной информации и наделенными интеллектуальными функциями. Подобные интеллектуальные системы для раннего обнаружения П представлены в [24 – 27]. При всей сложности техники процедур слияния разнотипной информации и учета информационно – статистических характеристик процесса развития П использование комплексной информации о П в любом случае должно способствовать повышению надежности обнаружения П.

При всем этом – при опытах (попытках) раннего обнаружения ПС по регистрации его признаков поздних стадий или при последовательной индикации признаков сначала ранних, затем поздних стадий, и последующем слиянии разнотипной информации – практически всегда остается вопрос: какой признак должен быть «запальным», начинающим всю цепочку событий по индикации последовательности признаков все более поздних стадий развития ПС – вплоть до слияния разнотипной информации и формирования интегрированного решения о П? Иными словами, какой признак из стадий должен пониматься как оптимальный: газы начальной термодеструкции электроизоляционных и др. материалов, температура, тепловое (ИК) излучение, задымленность, наличие следов монооксида углерода или, как в [22], под таким начинающим признаком следует понимать обнаруживаемые (на основе технологии ТВ-изображений) области контролируемого пространства, содержащие движущиеся изображения?

Анализ более трех десятков статей, упомянутых выше и посвященных системам раннего обнаружения П по комплексу признаков показывает, что наиболее часто в качестве «запального» называется признак дымообразования. А в сочетании с признаком дымообразования в комплексных системах упоминаются результаты обработки ТВ-изображений дымовых потоков или движущегося пламени.

Таким образом, в настоящее время в качестве наиболее подходящего признака П для идентификации ПС и П утверждается признак дымообразования – в том числе и для систем, строящихся на основе индикации и ранних, и поздних стадий П с последующим слиянием разнотипной информации и формированием интегрированного решения о ПС контролируемого объекта.

#### **Заключение**

1. Пожароопасный процесс – от рабочего режима объекта до П – развивается в несколько стадий.
2. Каждой стадии соответствует совокупность физико-химических явлений, или факторов (признаков) пожароопасного состояния, характеризующая набором определённых параметров.
3. Регистрация факторов высокой стадийности означает, как правило, регистрацию П, низкой – ПС.
4. Понижение стадийности регистрируемого фактора приводит к необходимости построения, в сущности, противопожарных профилактико-диагностических систем: решения систем по факторам низкой стадийности должны анализироваться дополнительно, поскольку чем ниже регистрируемая стадия, тем неопределёнее связь факта её обнаружения с П. Это подтверждается современными тенденциями к построению интеллектуальных систем обнаружения П.
5. Обнаружение самих ПС, как ситуаций, описываемых определёнными наборами физико-химических параметров, традиционными системами осуществляется малоэффективно.
6. С развитием электронной техники стадийность факторов, используемых для обнаружения ПС, в целом, понижается.
7. По многим характеристикам оптимальным признаком (фактором) П для идентификации ПС, в частности, для ЛА является дым.
8. Анализ исследований и разработок систем обнаружения систем ПС и П, выполненных за рубежом в 2002 – 2013 гг., показывает, что наиболее подходящим начальным («запальным») признаком для обнаружения ПС и П по комплексу признаков П является дым.

#### **Список литературы:**

1. Leworthy L. R. Automatic fire detection // Workes Engineering and factory service – Part 1, 1970,

- В,65, 766, –Р.20-21; Part 2, 1970, В,65, 767, Р.35-39; Part 3, 1970, В,65, 768, Р.34-36.
2. Ильинская Л.А. Элементы противопожарной автоматики. – М.: Энергия, 1969. – 72 с.
  3. Герловин Ю.Н., Иванов Е.Н., Климов Г.В. и др. Автоматические средства обнаружения и тушения пожаров. – М.: Стройизд., 1975. – С. 42–84.
  4. Бубырь Н.Ф. Пожарная автоматика. – М.: Редакционно-издательский отдел, 1977. – С. 30–65.
  5. Шаровар Ф.И. Устройства и системы пожарной сигнализации. – М.: Стройизд., 1979. – С. 22 – 170.
  6. Шаровар Ф.И. Принципы построения устройств и систем автоматической пожарной сигнализации. – М.: Стройизд., 1983. – С. 47 – 194.
  7. Членов А.Н. и др. Новые методы и технические средства обнаружения пожара: Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 175 с.
  8. Федоров А.В., Членов А.Н., Лукьянченко А.А., Буцынская Т.А., Денехин В.Ф. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара: Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 160 с.
  9. Zhuiykov S. Novel sensor-actuator device for early detection of fire// Sens. and Actuators. A. – 2008–Т. 141–№1. – С. 89–96.
  10. Technical article // IEN: Ind. Eng. News - Eur. – 2010, Т. 36, N12. – С.16.
  11. Bomse D.S., Hovde D.Sh., Chen Shin-Juh, Silver J.A. // Proc. SPIE. – 2002, Т. 4817. – С. 73-81.
  12. Wiseberg A. Keeping a close eye on fire // Fire – 2003. – Т. 96. – №1182. – С. 34–35.
  13. Caught on camera // Fire Prev. and Fire Eng. J. – 2004, Aug. – С. 36–37.
  14. Johnson P.F. Fire Detection in Computer Facilities: 25 Years On // Fire Technol. – 2010. – Т. 46. – №4. – С. 803–820.
  15. Jones, M. Saving the tunnel customer // Tunnels and Tunnel. Int. – 2010, Oct. – С. 36–40.
  16. Engelhaupt D., Reardon P., Blackwell L., Warden L., Ramsey B. Autonomous long-range open area fire detection and reporting // Proc. SPIE. – 2005. – Т. 5782. – С. 164–175.
  17. Sadok M., Zakrzewski R., Zelif B. Video-based cargo fire verification system with fuzzy inference engine for commercial aircraft // Proc. SPIE. – 2005. – Т. 5679. – С. 99–107.
  18. Cowlard A., Jahn W., Abecassis-Empis C., Rein G., Torero José L. Sensor Assisted Fire Fighting // Fire Technol. – 2010. – Т. 46. – №3. – С. 719–741.
  19. Zhang R., Du Ji. Fuzzy clustering algorithm of early fire based on process characteristic // Key Eng. Mater. – 2010. – № 437. – С. 339–343.
  20. Diamond U.V. Sensor used in fire detection system // Ind. Diamond Rev. – 2006. – №2. – С. 8.
  21. Jones C. Intelligent design // Fire Risk Manag. – 2010, Aug.-Sept. – С. 24–28.
  22. Kang M., Tung Truong X., Kim J.-M. Efficient video-equipped fire detection approach for automatic fire alarm systems // Opt. Eng. – 2013. – Т. 52. – №1. – С. 17002.
  23. Scorfield S. Advanced views // Fire Prev. and Fire Eng. J. – 2004, Aug. – С. 28-31.
  24. Luo R.C., Su Kuo L. Autonomous fire-detection system using adaptive sensory fusion for intelligent security robot // IEEE/ASME Trans. Mechatron. – 2007. – Т. 12. – №3. – С. 274–281.
  25. Fireproof measure in electric systems // IEEE Trans. Power. Deliv. – 2008. – Т. 23. – №2. – С. 625.
  26. Wang Sh.-J., Jeng D.-L., Tsai M.-T. Early fire detection method in video for vessels // J. Syst. and Software. – 2009. – Т. 82. – №4. – С. 656–667.
  27. Cheng C., Sun F., Zhou X. One fire detection method using neural networks // Tsinghua Sci. and Technol. – 2011. – Т. 16. – №1. – С. 31–35.

#### Понятия «безопасность» и их соотношение

*Дубицкий М.А., Ивашов К.В.*

*Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет, Россия, г. Иркутск  
e-mail: [dubitskii\\_ma@mail.ru](mailto:dubitskii_ma@mail.ru); e-mail: [kostya2k@mail.ru](mailto:kostya2k@mail.ru)*

Существует объективная потребность в определении соотношения таких понятий, как безопасность объекта, безопасность субъекта, экологическая безопасность, энергетическая безопасность и национальная безопасность.

**Безопасность объекта и безопасность субъекта.** В качестве объекта исследований рассматриваются объекты энергетического комплекса – системы энергетики (электроэнергетические, газо-, нефте-, тепло-, углеснабжающие и ядерно-энергетические системы). Безопасность объекта это свойство объекта не допускать ситуации, опасные для людей