

УДК 681.53/.54

UDC 681.53/.54

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПЛАМЕНИ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК****AUTOMATIC FLAME CONTROL OF INDUSTRIAL INSTALLATIONS**

Нестеров Геннадий Дмитриевич  
к.т.н., профессор  
e-mail:nnnnnnn46@mail.ru  
SPIN код = 5921-3711

Nesterov Gennadiy Dmitrievich  
Cand.Tech.Sci., professor  
e-mail:nnnnnnn46@mail.ru  
RSCI SPIN code =5921-3711

*Академия маркетинга и социально-информационных технологий (ИМСИТ), Краснодар, Россия*

*Academy of Marketing and Social-Information Technologies (IMSIT), Krasnodar, Russia*

Статья посвящена актуальному вопросу контроля пламени промышленных установок. Исследование этой проблемы традиционно начинают с анализа аварийных режимов тепловых агрегатов, отклонений параметров топочных процессов от допустимых значений. Наиболее неблагоприятным фактором для безаварийной работы промышленных тепловых установок является циклический характер изменения нагрузки энергопотребляющих аппаратов с глубокими и резкими перепадами. В работе приводится исследование физических факторов, влияющих на устойчивость горения в топках, нарушение которой приводит к аварийному срыву пламени. Это помогает оснастить тепловые агрегаты эффективной автоматической защитой

The article describes the modern problem of automatic flame control of industrial installations. The research of this problem is usually begun with the analysis of emergency mode of thermal generating units, divergence of parameters burning processes from accepted value. The most unfavorable factor for trouble-free operation of industrial thermal plants is the cyclical nature of the load changes energy-consuming devices with deep and rapid changes. The paper presents a study of physical factors affecting the stability of combustion in furnaces, the violation of which leads to abnormal flameout. It helps to equip thermal units with effective automatic protection

Ключевые слова: КОНТРОЛЬ ПЛАМЕНИ, АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ, ТОПОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ, СРЫВ ПЛАМЕНИ, АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

Keywords: FLAME CONTROL, EMERGENCY MODES, COMBUSTION PROCESSES, FLAME-OUT, AUTOMATIC PROTECTION

Опыт эксплуатации промышленных тепловых установок показывает, что ещё нередки случаи их аварий. Исследования причин аварий котлоагрегатов, которые наиболее характерны для установок рассматриваемого класса и статистические данные по ним достаточно широко освещены в литературе.

Среди упомянутых причин преобладают отклонения режимных параметров топочных процессов и барабана котла от допустимых значений. Это положение хорошо согласуется с требованиями действующих отечественных руководящих проектных материалов к объёму системы автоматической защиты котлоагрегатов.

Составленные по принципу того, что количество контролируемых системой параметров должно быть минимальным, но достаточным для обеспечения надёжной и экономичной работы тепловой установки, указанные требования предусматривают прекращение подачи газообразного или жидкого топлива в случае погасания пламени в топке.

Одним из самых потенциально опасных видов аварий справедливо считаются взрывы в топках, которые могут сопровождаться значительным материальным ущербом и жертвами. Это свидетельствует о недопустимости подобных аварий и оправдывает большие материальные затраты на их предотвращение.

Однако следует отметить, что часто при нарушениях нормального режима эксплуатации котлов в топках происходят взрывы небольшой мощности (хлопки), которые не сопровождаются существенными разрушениями технологического оборудования, но, тем не менее, потенциально являются опасными для жизни и здоровья человека. Такие хлопки, как правило, официально не регистрируются и статистические сведения по ним отсутствуют. Имеют место также случаи, когда в целях удовлетворения интересов производства в бесперебойном пароснабжении, не фиксируются аварии, последствия которых легко устраняются силами промышленного предприятия.

Удельный вес взрывов в топках особенно высок для котельных установок, сжигающих более взрывоопасные жидкое и газообразное виды топлива. При этом большое число топочных взрывов имеет место при рабочих режимах с низкой нагрузкой котлоагрегата. По разным источникам, они составляют 36-45% от общего количества взрывов.

Изложенное подтверждает необходимость контролировать пламя с целью предупреждения взрывов в топках паровых котлов. Более того, анализ аварийных режимов котлоагрегата выявляет исключительное место

канала контроля пламени среди приборов, представленных в системе автоматической защиты.

Устройство контроля пламени дублирует другие каналы защитной автоматики горения, повышая надежность всей системы в целом, это обусловлено тем, что к числу факторов, приводящих к погасанию пламени, относятся, как показал анализ, отклонения от допустимых норм параметров топочного процесса: разрежения, давления поступающих в топку топлива и воздуха.

Таким образом, значимость канала контроля пламени заключается в том, что он не строго селективен, в отличие от других, а реагирует на совокупность многих качественно различных причин взрывоопасных аварийных ситуаций. Благодаря своей универсальной избирательности и интегральному действию, этот канал занимает ведущее место в системе автоматической защиты котлоагрегатов и печей, требуя особого исследования.

Специфические условия промышленных предприятий, применяющих тепловые агрегаты преимущественно малой мощности, весьма неблагоприятны с точки зрения безопасной эксплуатации котлоагрегатов и печей. Учитывая это, дополним общую картину их аварийности рядом объективных факторов, характерных для промышленных предприятий. Особенно яркой иллюстрацией в указанном смысле могут служить тепловые агрегаты пищевых производств.

В первую очередь следует отметить характерную для котельных предприятий пищевой промышленности слабую оснащённость приборами автоматического контроля, регулирования и защиты. Так, по данным ЗАО "НПО "Пищепромавтоматика" [1,3], исследовавшего методом составления анкет состояние автоматизации котельных 148 пищевых предприятий, только 70 % из 550 котлов паропроизводительностью от 2,5 до 50 т/ч с ка-

мерными топками, сжигающими главным образом газ и мазут, полностью укомплектованы автоматикой процесса горения.

Установленная аппаратура автоматики освоена частично из-за неудовлетворительного состояния самого оборудования котельных, а также ввиду низкого качества некоторых средств автоматизации.

Распределенные по отдельным предприятиям, как правило, в сельской местности, вблизи от источников сырья, котельные установки и аппаратура автоматики пищевых производств не всегда обеспечиваются квалифицированным обслуживанием, вследствие чего не соблюдаются требуемые режимы работы оборудования, нарушаются нормальные условия его эксплуатации.

Логично заключить, что в таких условиях аппаратура автоматического управления установок пароснабжения должна отличаться простотой и надежностью. Однако по сведениям того же источника обследованный котельный парк пищевых предприятий представлен довольно сложной электронной аппаратурой. Многие приборы не работают. Обслуживание неквалифицированное.

ВПТИ ЭНЕРГОМАШ также проводил обследование имеющихся систем автоматики котлов малой производительности и горючих устройств зарубежных фирм с целью выявления современных принципов построения подобных систем, их достоинств и недостатков [2]. Были изучены системы автоматики котлов следующих фирм: "Henschel" (ФРГ), "Bowe" (ФРГ), "Clayton" (США), "Wanson" (Бельгия); а также горелочных устройств итальянской фирмы "Riello". Анализ материалов, собранных при обследовании установленных в РФ котлов иностранных фирм, позволяет в качестве основных характерных для всех указанных систем автоматики недостатков отметить отсутствие полного объема защиты, универсальности применительно к виду сжигаемого топлива, самоконтроля; неуккомплектованность в необходимом объеме приборами автоматики.

Циклический характер работы значительной части энергопотребляющих аппаратов пищевых производств определяет глубокие и резкие перепады нагрузок установок пароснабжения, что существенно отличает условия эксплуатации паровых котлов на предприятиях пищевой промышленности по сравнению с условиями других отраслей. Причём, с уменьшением мощности котлоагрегата наблюдается тенденция к увеличению амплитуды колебаний нагрузок до 45 % от номинальной величины.

Подобная нестабильность пароотбора приводит к соответствующим изменениям теплового режима котла и колебаниям параметров топочного процесса. Изменяются расходы топлива и воздуха, подаваемые на горение. В таких условиях неизбежны динамические отклонения от заданных значений величин коэффициента избытка воздуха и разрежения даже у автоматизированных котлоагрегатов.

Проследим, как влияют указанные колебания нагрузки газифицированного парового котла на динамику коэффициента избытка воздуха и на возможность возникновения вследствие этого аварийной ситуации. Пример со сжиганием газообразного топлива в данном случае более показателен, поскольку при этом предполагается более широкий диапазон изменения теплопроизводительности горелок, чем при сжигании жидкого или твердого топлива.

Поставленная задача достаточно просто решается с применением аналогового моделирования. На электронной модели определяем максимальное динамическое отклонение коэффициента избытка воздуха при оптимальных переходных процессах в автоматической системе регулирования (АСР) давления пара в барабане котла и АСР соотношения "топливо-воздух", которые связаны между собой и ведущей является АСР давления пара. Оптимальным считаем аperiodический процесс с минимальным динамическим забросом регулируемой величины.

Для установок пароснабжения могут быть приняты простейшие дифференциальные уравнения по давлению пара в барабане котла.

$$T_0 \dot{\varphi}_d(\tau) = \mu_T(\tau) - \lambda(\tau) \quad (1)$$

и изодромного регулятора давления пара

$$\delta_{ж} T_{и} \dot{\mu}_T(\tau) + T_{и} \dot{\varphi}_d(\tau) + \mu_T(\tau) = 0, \quad (2)$$

в которых

$T_0$  – постоянная времени котла, принятая равной 160с;

$\delta_{ж}, \lambda(\tau), \mu_T(\tau)$  – относительные изменения соответственно давления пара, нагрузки, положения регулирующего органа подачи топлива;

$\delta_{ж}$  – неравномерность регулятора с жёсткой обратной связью;

$T_{и}$  – время изодрома .

На основе уравнений (1) и (2) без учета динамических свойств исполнительного устройства вследствие малой по сравнению с  $T_0$  его постоянной времени получены соответствующие уравнения машинного вида для АСР давления пара в барабане котла. На аналоговой моделирующей установке при оптимальных параметрах настройки регулятора давления пара записан переходный процесс в системе для резкого отклонения нагрузки, подобного упомянутым выше колебаниям с амплитудой 45% от номинальной величины пароотбора (рисунок 1).

Для математического моделирования АСР соотношения "топливо-воздух" используем следующие уравнения:

воздуховода

$$\dot{V}_v(\tau) =$$

$$(\tau) + V_v(\tau) =$$

$$(3)$$

изодромного регулятора соотношения

$$\delta_{ж} T_{и} \xi_{т}(\tau) + T_{и} \varphi'_{в}(\tau) + \varphi_{в}(\tau) = 0 \quad (4)$$

относительного изменения коэффициента избытка воздуха, которое может быть представлено следующим образом

$$\varphi_{в}(\tau) = v_{в}(\tau) - \xi(\tau) \quad (5)$$

исполнительного устройства подачи воздуха

$$T_{с} \mu'_{в}(\tau) + \mu_{в}(\tau) = \xi(\tau), \quad (6)$$

где  $T_{в} = 1,1$  с - постоянная времени воздуховода;

$v_{в}(\tau), v_{т}(\tau), \mu_{в}(\tau), \varphi_{в}(\tau)$  - относительные изменения соответственно расхода воздуха, расхода топлива, положения регулирующего органа подачи воздуха, коэффициента избытка воздуха;

$\xi(\tau)$  - выходной сигнал регулятора расхода воздуха;

$T_{с} = 15$  с - постоянная времени исполнительного устройства подачи воздуха.

Считая характеристику регулирующего органа подачи топлива линейной, положим

$$v_{т}(\tau) = \xi(\tau), \quad (7)$$

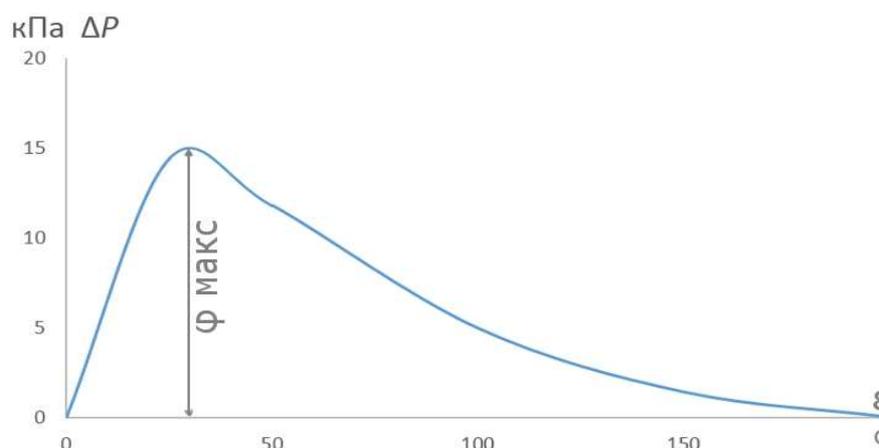


Рисунок 1 – График переходного процесса в АСР давления пара

Упрощенная структурная схема связанных систем регулирования, управляющих подачей топлива и воздуха на горение, может быть представлена в виде, показанном на рисунке 2.

Исходя из уравнений (3 - 7) при оптимальных параметрах настройки регулятора соотношения записан переходный процесс в системе для упомянутого выше максимального отклонения нагрузки котлоагрегата.

Величина максимального динамического заброса составляет 0,27, что соответствует изменению коэффициента избытка воздуха приблизительно на 0,31. Подобная величина заброса в условиях резкопеременных нагрузок котлоагрегатов пищевых предприятий может привести к потере устойчивости горения и срыву факела.

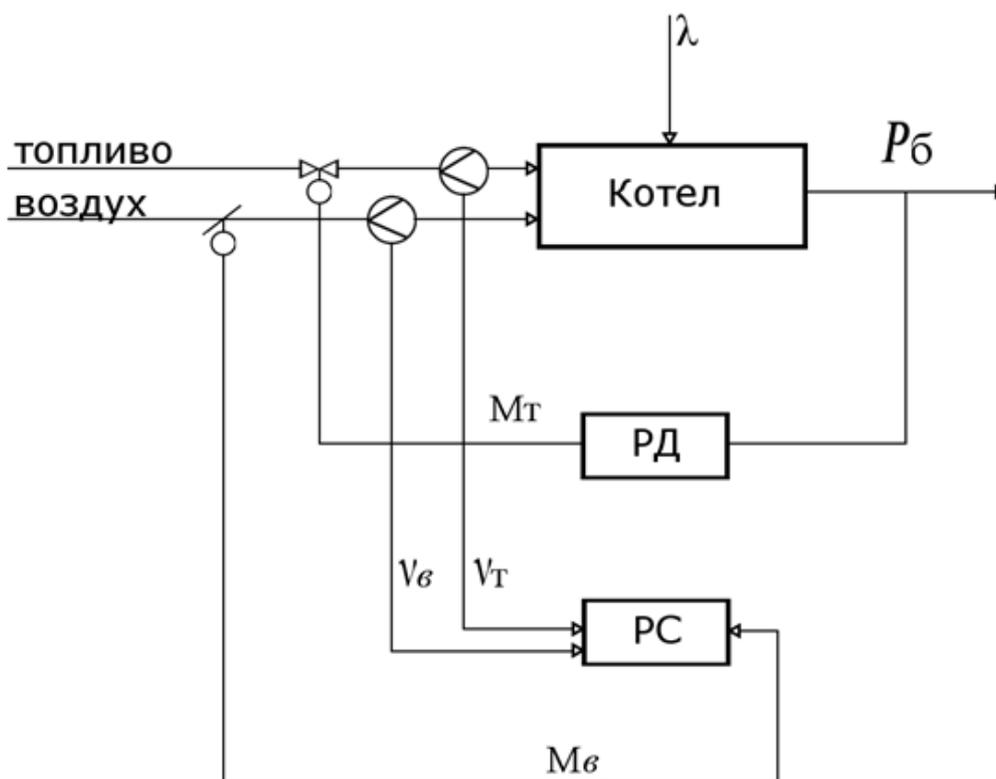
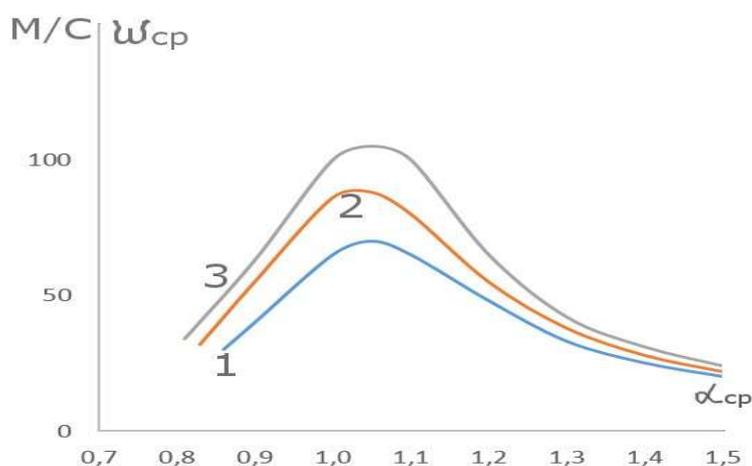


Рисунок 2 – Упрощенная схема связанных АСР подачи топлива и воздуха на горелку

Объясняется это следующим. Как известно, границы устойчивости горения определяются величиной той скорости потока топливовоздушной смеси, при которой происходит срыв факела. Для значений коэффициента

избытка воздуха  $\alpha$ , близких к 1, наблюдается максимальное значение скорости воздуха срыва (рисунок 3), и кривая  $\omega = f(\alpha)$ , ограничивающая область устойчивого горения, имеет пик.

Области, отличающиеся от стехиометрии, характеризуются меньшей скоростью срыва факела. Следовательно, с отклонением значений коэффициента избытка воздуха от 1 увеличивается вероятность возникновения аварийной ситуации. Причём, она особенно велика при росте нагрузки агрегата  $\lambda(\tau) > 0$ , когда в динамике  $\alpha < 1$ , а скорость потока  $\omega$  увеличивается.



1- Для стабилизатора Ø 24 мм, 2 - Ø 29,6 мм, 3 - Ø 34 мм

Рисунок 3 – Срывные характеристики горелок

На устойчивость горения отрицательное влияние оказывают и динамические колебания разрежения от глубоких и резких перепадов нагрузок паровых котлов. Такая опасность исходит в силу малой инерционности контура регулирования АСР разрежения в топке. Автор, в частности, наблюдал в промышленных условиях при оптимальной настройке регулятора тяги увеличение в динамике разрежения в топке на величину до 15 Па от резких и глубоких сбросов нагрузки котла с принудительной подачей воздуха и уменьшение его величину до 10 Па при таких же резких и глубо-

ких возрастаниях нагрузки. В первом случае это грозит срывом факела, а во втором - проскоком пламени внутрь горелки.

Глубокие перепады нагрузок установок пароснабжения пищевых производств предполагают также возможность их периодической работы с минимальной производительностью. В условиях совместной параллельной работы двух или более автоматизированных котлов, что широко практикуется в промышленных котельных, это может привести к потере устойчивости АСР соотношения "топливо-воздух". В частности, при нагрузках порядка 25-30% от номинальной иногда наблюдались такие колебания расхода воздуха, которые приводили к срыву факела горелок. Сказанное здесь подтверждается и приведенными выше статистическими сведениями, согласно которым 39-45% взрывов в топках случаются именно при низких нагрузках котлоагрегатов.

Таким образом, специфичной особенностью работы тепловых агрегатов на промышленных предприятиях являются более неблагоприятные и тяжёлые условия эксплуатации по сравнению с условиями других отраслей, которые существенно увеличивают вероятность возникновения аварийных ситуаций и требуют первоочередного оснащения промышленных тепловых установок простой и надёжной аппаратурой - автоматической защиты.

#### Список литературы

- 1- Проект КИП и А от А до Я [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knowkip.ucoz.ru/>
- 2- Интеллектуальные Системы Автоматизации Технологии [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://www.insat.ru/>
- 3- НПП ПРОМА Производство и внедрение приборов автоматизации Технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.promav.ru/>

#### List of references

- 1- Proekt KIP i A ot A do YA [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://knowkip.ucoz.ru/>
- 2- Intellektual'nye Sistemy Avtomatizatsii Tekhnologii [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.insat.ru/>
- 3- NPP PROMA Proizvodstvo i vnedrenie priborov avtomatizatsii Tekhnologii. [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.promav.ru>