

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ СЛАНЦА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ *

Э. Ю. КЮННАП,

кандидат технических наук

Интенсивный рост потребления электроэнергии и строительных материалов в Эстонской ССР вызвал необходимость всестороннего изучения свойств основного вида местного топлива — сланца — и разработки наиболее рациональных методов его использования. Чрезвычайно высокое содержание неорганической части (42—56% на рабочее топливо), представляющей собой ценный материал как строительное вяжущее, приводит к тому, что широкое применение горючих сланцев наиболее рационально лишь при условии одновременного комплексного использования органической части и негорючего минерального балласта, входящих в состав сланца.

Институтом энергетики Академии наук Эстонской ССР разработаны рациональные способы сжигания сланца в лабораторных двухступенчатых топках с кипящим слоем практически без химических и механических недожогов, причем неорганическая часть преобразуется в высококачественное строительное вяжущее (5).

Сжигание сланца в кипящем слое представляет собой высокоинтенсивный процесс горения, управление которым без применения автоматики затруднено.

В настоящей статье приводятся уравнения динамики топочного процесса с кипящим слоем на мелком сланце и рассматриваются возможные схемы его автоматического регулирования.

Топка с кипящим слоем как объект автоматического регулирования

Сжигание сланца в промышленных и энергетических установках проводится в основном в виде слоевого и факельного горения. Слоевое сжигание осуществляется в топках с механическими переталкивающими решетками, а факельное — в виде пыли в клинкерных печах цементного завода и под котлами средней мощности, по шахтномельничному принципу. Наиболее распространенными и эффективными механическими наклонно-переталкивающимися решетками для сжигания сланца являются встречно-движущиеся решетки. Приводом этих решеток служит редуктор в виде коробки скоростей, переключение которого осуществляется вручную. Кроме того, часть воздуха подается в виде позонного дутья

* Статья составлена по материалам диссертации автора (4), выполненной под руководством доктора технических наук Ю. Г. Корнилова и при консультации доктора технических наук Х. К. Труу.

(с ручной регулировкой), а вторая часть, составляющая примерно 20% от общего его количества, направляется в топку в виде вторичного воздуха. Из-за отсутствия полной механизации процесса горения автоматизацию топки можно осуществить только частично. При этом качество золы оказывается низким: из-под решетки выходит зола марки «50—70».

Интенсивный рост выработки электроэнергии вызывает необходимость применения котлоагрегатов средней и большой мощности. Процесс горения сланцевой пыли в настоящее время протекает таким образом, что преобладающая часть золы (примерно 80%) проходит через газоходы котла. Ввиду многозольности сланца, а также и вследствие того, что в отличие от некоторых других видов твердого топлива частицы золы сланца кукурузного месторождения имеют острые грани, абразивное действие сланцевой золы приводит к повышенному износу поверхностей нагрева котла. Другим существенным недостатком в работе котлов на сланце является спекание золы на поверхностях нагрева. Существующее автоматическое регулирование не ограничивает температуры газов в топке, вследствие чего наблюдается шлакование газоходов котла, особенно при больших нагрузках. Шлакование можно уменьшить периодической обдувкой поверхностей нагрева котла. Отсутствие усреднения температуры в камере топки приводит к образованию шлаковой пленки на частицах золы, что снижает ее качество как строительного вяжущего (получается лишь марка порядка «150»).

Сжиганию сланца в двухступенчатой топке с кипящим слоем свойственна высокая эффективность процесса, что достигается скоростным разогреванием топлива и интенсивным выделением летучих веществ в окислительной зоне первой ступени топки. Догорание летучих веществ и кокса-уноса протекает во второй ступени топки. При данном топочном процессе имеет место значительное улавливание золы (примерно 75—80%) в самой топке. Через газоходы же котла проходит не более 20—25% от общего содержания золы в сланце, что существенным образом снижает степень загрязнения поверхностей нагрева котла. Размолотая зола из-под первой ступени топки, составляющая примерно 30% от общего количества улавливаемой золы, имеет марку примерно «120». Летучая же зола, составляющая около 70% от всей улавливаемой золы, имеет марку примерно «300».

Ввиду полной механизации процесса и применения скоростного способа сжигания, внедрение автоматического регулирования горения возможно, необходимо и играет в данном случае особо важную роль, так как к обычным задачам регулирования горения прибавляется еще необходимость соблюдения оптимальных условий термического преобразования неорганической части сланца в строительное вяжущее.

Исследование работы двухступенчатой топки с кипящим слоем на сланце и ее автоматического регулирования проводилось на лабораторной установке Института энергетики АН ЭССР (рис. 1). Первая ступень этой установки представляет собой генератор, изготовленный из керамических блоков, высотой в 1000 мм и диаметром (в нижней цилиндрической части шахты) 215 мм; диаметр верхней части конуса шахты составлял 600 мм. Зеркало горения — решетка — имело живое сечение примерно 1%.

Продукты горения и кокс-унос поступают во вторую ступень топки, которую составляет металлический цилиндр с водяным охлаждением, имеющий внутренний диаметр 520 мм, длину 480 мм и толщину «водяной рубашки» 40 мм. Далее продукты горения проходят через змеевиковый охладитель и с помощью дымососа выбрасываются в трубу. В качестве топлива использовался мелкий сланец — фракция до 5 мм, кото-

рый подавался в генератор с помощью шнека с электроприводом постоянного тока. Расход топлива составлял 30—65 кг/час, а его теплотворность — $Q_n^P = 2790$ ккал/кг.

Процесс регулирования топки с кипящим слоем на сланце рассматривается в данном случае теоретически и подвергается экспериментальной проверке.

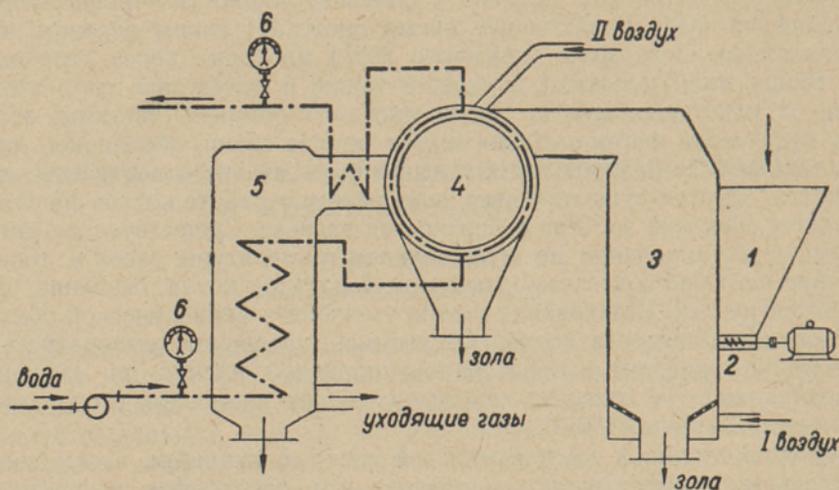


Рис. 1. Схема установки. 1 — бункер топлива, 2 — шнековый питатель, 3 — первая ступень (генератор), 4 — вторая ступень (циклон), 5 — теплообменник, 6 — манометры.

В теоретическую часть исследования работы установки входит разработка уравнений динамики топки с кипящим слоем на сланце как по водяному, так и по газозвоздушному тракту, а также сравнительный анализ схем регулирования.

При составлении уравнений был использован метод, предложенный чл.-корр. Академии наук СССР проф. И. Н. Вознесенским⁽³⁾. При допущении некоторых упрощений получаются следующие уравнения динамики топки:

$$\varphi_1' = \frac{1}{T_1} \mu_1 - \frac{1}{T_{12}'} \mu_2 - \frac{1}{T_{12}''} \mu_3 - \frac{1}{T_{13}} \varphi_1 - \frac{1}{T_{14}} \lambda \text{ и}$$

$$\varphi_2' = \frac{1}{T_2} \mu_1 - \frac{1}{T_{22}'} \mu_2 - \frac{1}{T_{22}''} \mu_3 - \frac{1}{T_{23}} \varphi_2,$$

где $\varphi_1 = \frac{\Delta \theta_2}{\theta_0}$ — относительное изменение температуры воды при выходе из установки,

$\varphi_2 = \frac{\Delta \vartheta}{\vartheta_0}$ — относительное изменение температуры газов при выходе из второй ступени,

μ_1 — относительное изменение положения регулирующего органа подачи топлива,

μ_2 — относительное изменение положения регулирующего органа подачи первичного воздуха,

μ_3 — относительное изменение положения регулирующего органа подачи вторичного воздуха,

λ — относительное изменение расхода воды.

Для теоретического исследования автоматического регулирования топки необходимо иметь числовые значения инерционных коэффициентов его уравнений. Последние можно определить либо экспериментально, либо с помощью теоретических расчетов. Применялись оба метода, так как использование только одного метода не обеспечивает надежных результатов. Первая серия опытов проводилась для определения значений ряда величин, входящих в теоретические уравнения инерционных коэффициентов установки, а на основании данных второй серии опытов методом наименьших квадратов определялись их значения. Кроме того, среднее значение времени установки по расходу воды, установленное экспериментальным путем, послужило основой для нахождения величины аккумулирования тепла в футеровке и каркасе установки, теоретическое определение которой весьма затруднительно. На основании двух вышеизложенных методов были установлены окончательные значения инерционных коэффициентов топки и получены уравнения установки:

$$\varphi'_1 = \frac{1}{77} \mu_1 - \frac{1}{855} \mu_2 - \frac{1}{255} \mu_3 - \frac{1}{126} \lambda - \frac{1}{97,8} \varphi_1 \text{ и}$$

$$\varphi'_2 = \frac{1}{257} \mu_1 - \frac{1}{1120} \mu_2 - \frac{1}{334} \mu_3.$$

Схемы регулирования горения сланца в топке с кипящим слоем

Для экспериментального исследования регулирования процесса сжигания сланца топка была укомплектована следующими регуляторами: 1) регулятор топлива КРТ, 2) регулятор первичного воздуха КРВ и 3) регуляторы вторичного воздуха: а) по расходу первичного воздуха — КРСВ и б) по температуре газов во второй ступени (электронный регулятор типа ЭРТ—52).

В качестве регулятора топлива КРТ был взят электромеханический регулятор типа ЦКТИ с термосистемой, заполненной спиртом. Регулятор первичного воздуха, регулирующий подачу воздуха в первую ступень, рассматривается в трех вариантах: 1) как регулятор воздуха по расходу топлива — «топливо-воздух», 2) как регулятор воздуха по расходу воды — «вода-воздух» и 3) как трехимпульсный регулятор воздуха, где кроме импульса по расходу воды применяется еще исчезающий импульс по положению регулирующего органа расхода топлива.

В качестве регулятора вторичного воздуха используется либо электромеханический регулятор соотношения первичного и вторичного воздуха по расходу первичного воздуха КРСВ, либо электронный регулятор температуры типа ЭРТ—52, воспринимающий импульс от температуры газов во второй ступени. В первом случае имеем 3 схемы регулирования серии «а», а во втором случае 3 схемы регулирования серии «б». Все регуляторы настраиваются на скользящий режим регулирования (2). Это обстоятельство и принимается во внимание при теоретическом исследовании схем регулирования.

Задачей экспериментального исследования автоматики было выявление пригодности и определение качества всех разработанных схем автоматики. Наличие толстого слоя воды в водяной рубашке второй ступени и инерционности термосистемы регулятора температуры КРТ обуславливало значительное запаздывание действия регулирующего органа топлива, так как нагревание воды во второй ступени происходит только с внутренней стороны цилиндра. Установка в узкой части прохода газов от второй ступени в хвостовую часть дополнительного змеевика улуч-

шала регулируемость установки, и указанное запаздывание уменьшалось, составляя в среднем 50 сек. при мгновенном изменении нагрузки.

Сравнительно малое значение постоянной времени объекта по нагрузке и значительное запаздывание действия регулирующего органа топлива создают неблагоприятные условия для восстановления значения регулируемого параметра при переходных процессах. Так, при изменении нагрузки $\lambda = \pm 0,1$ температура воды отклоняется от номинального своего значения ($\Theta_2 = 80^\circ$) на $\pm 11 - 13^\circ$.

Максимальное динамическое отклонение параметра можно уменьшить, если изменение количества топлива поставить в зависимость не только от изменения температуры воды, но и от изменения нагрузки (введение второго импульса) (рис. 2).

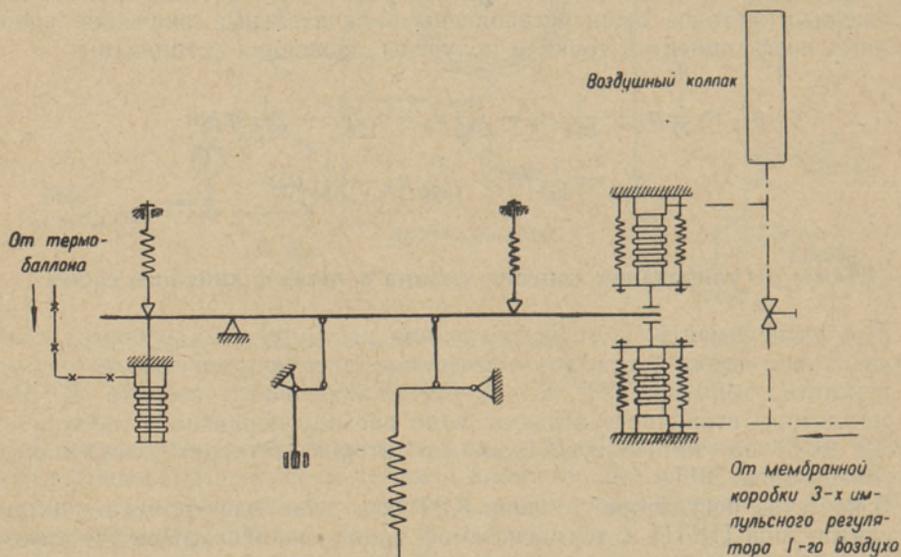


Рис. 2. Схема двухимпульсного регулятора топлива КРТ.

Каждому предельному значению расхода воды при полном сгорании топлива соответствует определенное количество расхода топлива. Вода прокачивается через охлаждающую систему установки с помощью насоса, работающего при постоянном числе оборотов, причем расход воды регулируется клапаном, установленным в трубопроводе в точке выхода воды из системы. На трубопроводе при входе и выходе имеются манометры. При максимальном расходе воды показание верхнего (минусового) манометра равнялось нулю. При нулевом расходе воды статический напор в трубопроводе равнялся 2,8 атм. Таким образом, при максимальном расходе воды разность показаний обоих манометров была максимальной, а их значения — минимальными. При минимальном расходе — разность показаний была минимальной, а показания обоих манометров максимальными. Каждому расходу воды соответствует определенное показание нижнего и верхнего манометров. Полученная экспериментальным путем зависимость расхода воды от давления на выходе (показание минусового манометра) оказалась почти линейной. Поэтому изменение давления воды может служить показателем расхода топлива при установившемся режиме (рис. 3). Одноимпульсный регулятор топлива заменяется, таким образом, двухимпульсным, где второй, исчезаю-

ший импульс берется по нагрузке установки, в отличие от схемы регулирования котла по тепловой нагрузке, разработанной в МО ЦКТИ (1). Анализ регуляторов применения второго импульса по нагрузке показывает, что указанный метод должен привести к уменьшению предельного значения регулируемого параметра при переходных процессах, что и подтверждается экспериментально. При включении двухимпульсного регулятора топлива в схему регулирования установки отклонения регулируемого параметра при переходных процессах, возникающие при мгновенном изменении нагрузки $\lambda = \pm 0,1$, не превышают $7-8^\circ$.

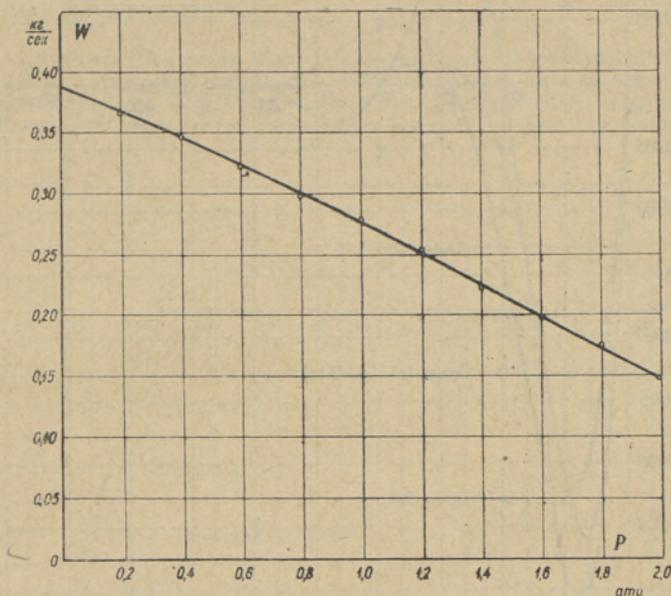


Рис. 3. Зависимость давления воды в минусовом манометре от расхода воды.

Оценку качественных показателей процесса регулирования можно провести либо прямым способом, т. е. решением дифференциального уравнения системы, либо косвенным; не решая данных дифференциальных уравнений. Наиболее точным и надежным методом изучения качественных показателей переходных процессов является метод решения линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами и графическое построение переходных процессов. Качество процесса регулирования тем эффективнее, чем меньше максимальное отклонение параметра, чем меньше перерегулирование и длительность переходного процесса, а также чем ниже порядок характеристического уравнения системы.

Для поддержания нормального режима горения необходимо, как известно, подавать в топку воздух в количестве, соответствующем количеству сжигаемого топлива. Подача первичного воздуха в рассматриваемых схемах регулирования производится регуляторами: 1) «топливо-воздух», 2) «вода-воздух» и 3) «вода-воздух» с исчезающим импульсом по топливу. В последнем, трехимпульсном регуляторе воздуха импульс по положению регулируемого органа топлива используется только в переходном процессе, а в дальнейшем действие его, осуществляемое через изодромное устройство, исключается и заменяется импульсом по расходу воды.

Постоянство зависимости расхода первичного воздуха от положения регулирующего органа топлива зависит от времени издрома T_{iz} . Как

показывают теоретические расчеты, в схемах серии «а», где регулирование вторичного воздуха осуществляется регулятором соотношения первичного и вторичного воздуха, увеличение времени издрома T_{i_2} ухудшает качество переходного процесса, а в схемах серии «б», где регулирование вторичного воздуха осуществляется электронным регулятором,

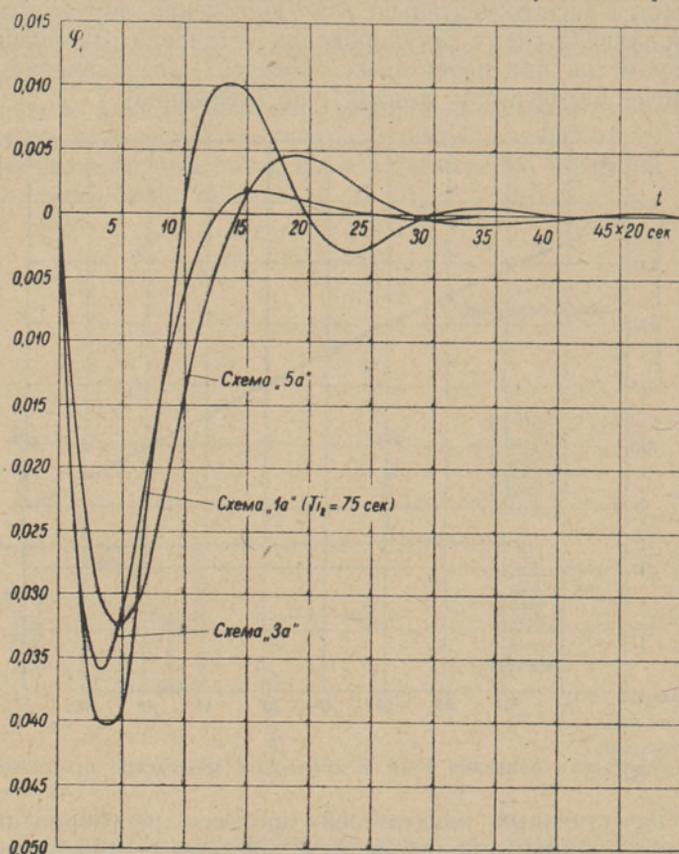


Рис. 4. Изменение φ_1 при $\lambda=0,1$.

увеличение значения T_{i_2} улучшает качество переходного процесса, так как с увеличением значения T_{i_2} величина $\frac{\varphi_1}{\lambda}$ уменьшается. Это объясняется тем, что в схемах серии «а» изменение нагрузки приводит к одновременному и однозначному изменению расходов первичного и вторичного воздуха, т. е. их влияние на параметр суммируется, а в схемах серии «б» изменение нагрузки приводит к изменению лишь расхода первичного воздуха того же знака, а вследствие изменения температуры газов — к изменению расхода вторичного воздуха противоположного знака. Таким образом, в первом случае влияние первичного и вторичного воздуха суммируется с влиянием изменения нагрузки, а во втором случае влияние вторичного воздуха вычитается.

Время издрома T_{i_2} практически выбирается исходя из инерционности установки. Кроме того, применение трехимпульсного регулятора целесообразно еще при наличии непостоянства характеристик двигателей и самого питателя. Изменения качества топлива и характеристик питателя в большей или меньшей мере в практике всегда имеются и, таким

образом, трехимпульсный регулятор топлива и для этой схемы установки более рационален, чем двухимпульсный «расход воды — расход воздуха» или «расход топлива — расход воздуха». Если сравнить между собой схемы серии «а» и «б», то при одинаковых условиях схемы серии «а» теоретически уступают схемам серии «б», так как сериям «б» соответствуют меньшие значения максимального отклонения параметра, меньшие времена регулирования и менее острые экстремумы. На рис. 4 и 5 приведены графики переходных процессов, полученные путем решения дифференциальных уравнений схем регулирования с помощью операторного метода исчисления.

Примечание. На схемах «1а» и «2б» отображено регулирование количества первичного воздуха трехимпульсным регулятором воздуха, на схемах «3а» и «4б» — регулирование количества первичного воздуха по расходу воды и на схемах «5а» и «6б» — регулирование количества первичного воздуха по расходу топлива.

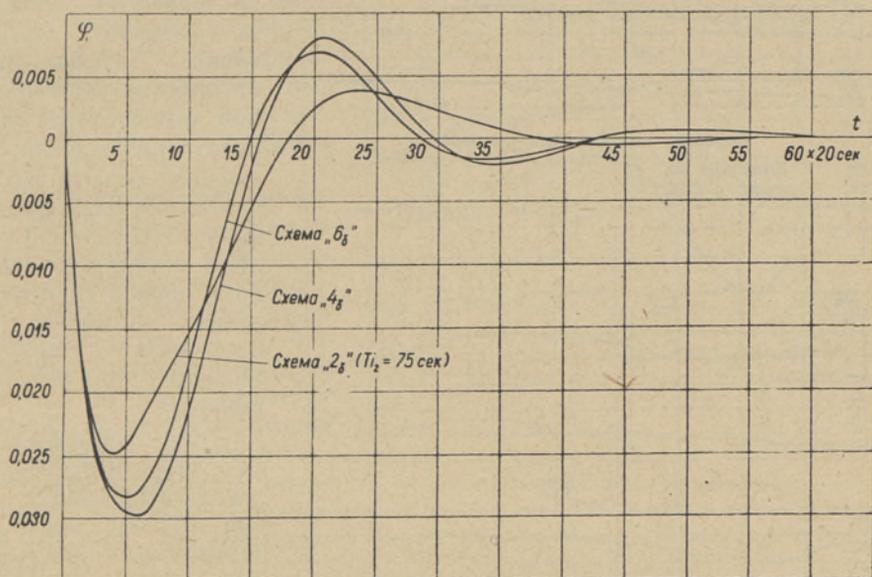


Рис. 5. Изменение φ_1 при $\lambda = 0,1$.

Однако, при рассмотрении данных, полученных из опытов переходных процессов установки, регулируемой по приведенным схемам, где наличие запаздывания действий регулирующего органа топлива имеет существенное влияние на качество переходного процесса, не замечалось особого отличия в разностях максимальных отклонений параметра по схемам «а» и «б».

При применении двухимпульсного регулятора топлива запаздывание действий регулирующего органа меньше влияет на качество переходного процесса и подходящий выбор времени импульса по нагрузке (наилучшее значение которого зависит также от времени сервомотора топлива) и значительно улучшает качество переходного процесса. При одинаковых условиях максимальное отклонение параметра при использовании двухимпульсного регулятора топлива составляет примерно 60% от максимального изменения параметра φ_1 в случае использования одноимпульсного регулятора. При этом время переходного процесса также уменьшается (рис. 6 и 7).

Регулятор топлива - одноимпульсный
Изменение нагрузки $\lambda = 0,105$

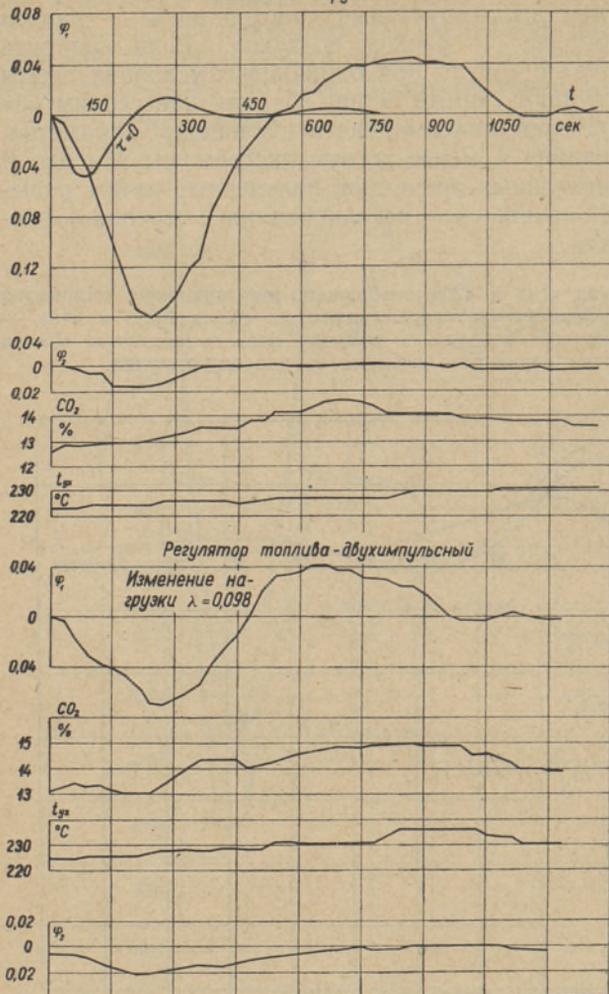


Рис. 6. Регулирование установки по схеме «2б».

ходных процессов все же показывают, что это различие незначительно и им можно пренебречь.

Сопоставляя недостатки электронного регулятора, — сложность конструкции, постоянное влияние высокой температуры на термоду, непостоянство характеристик электронных ламп и т. д., — и его главные преимущества перед электромеханическими, а именно — высокую чувствительность, быстроту действия и безинерционность, которые при регулировании данной установки имеют малое значение, так как изменение температуры газов, без существенного влияния на качество золы как строительного вяжущего, допускается в довольно широких пределах ($35-50^{\circ}$), — можно прийти к выводу, что в интересах упрощения схем регулирования схемам серии «а» следует отдать предпочтение перед схемами серии «б». В связи с этим целесообразно отказаться от электронного регулятора и применять для регулирования количества вторичного воздуха регулятор соотношения первичного и вторичного воздуха типа ЦКТИ, который значительно проще по конструкции и на-

Вторая регулируемая величина — температура газов во второй ступени — при использовании как схемы «а», так и схемы «б» не отклоняется за пределы допустимого, хотя в схеме «а» она отклоняется больше, чем в случае схемы «б». Необходимо отметить, что наличие генератора — органа, подготавливающего топливо для его сжигания во второй ступени топки, — стабилизирует процесс регулирования температуры газов во второй ступени, поскольку первый толчок изменения расхода первичного воздуха и топлива происходит именно в первой ступени, а время установки по первичному воздуху больше, чем по вторичному.

Таким образом, хотя теоретически схема регулирования серии «б» по своим динамическим показателям лучше, чем схема регулирования серии «а», практически полученные кривые пере-

дежнее, чем электронный (типа ВТИ). Кроме того, схемы серии «а» имеют порядок характеристического уравнения на два меньше, чем схемы серии «б».

На основании всего вышеизложенного окончательной схемой для регулирования рассматриваемой установки целесообразно выбрать схему «1а», состоящую из: 1) двухимпульсного регулятора топлива, 2) трехимпульсного регулятора первичного воздуха и 3) регулятора соотношения первичного и вторичного воздуха, регулирующего подачу вторичного воздуха в зависимости от расхода первичного воздуха (рис. 8).

Такая схема регулирования обеспечивает минимальное отклонение регулируемого параметра при наиболее неблагоприятном изменении нагрузки, т. е. при внезапном открытии или закрытии вентиля расхода воды. В то же время вторая регулируемая величина — температура газов — удерживается в заданных пределах весьма удовлетворительно.

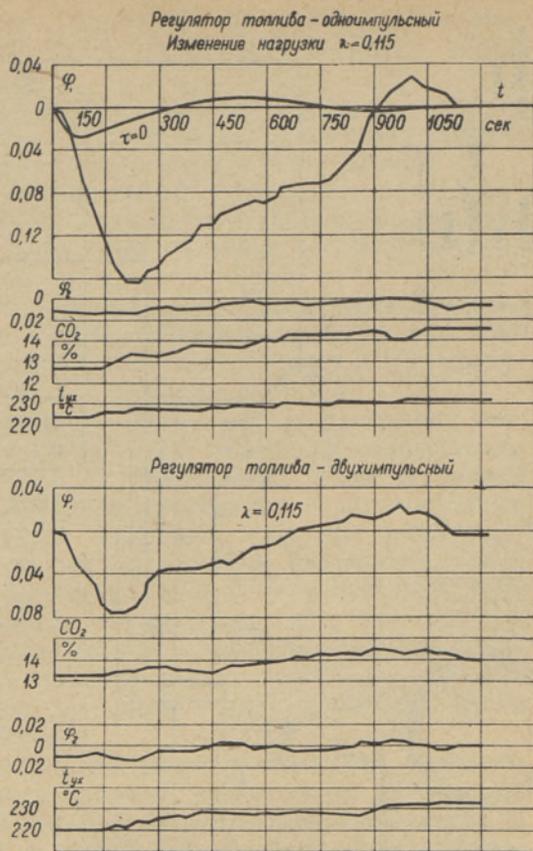


Рис. 7.
Регулирование установки по
схеме «1а».

Выводы

1. На основании анализа основных факторов динамики автоматического регулирования, а именно устойчивости и качества нестационарного процесса, разработан метод автоматического регулирования топочного процесса на многозольном топливе (сланце) с большим выходом летучих веществ, сжигание которого протекает в кипящем слое в двух очагах горения.

2. В результате исследования топочного процесса с кипящим слоем на сланце составлены уравнения динамики его протекания, а также получены уравнения систем его автоматического регулирования с использованием весьма эффективного «скользящего» режима регулирования.

3. Теоретически обоснована и экспериментально доказана (на лабораторной установке производительностью 180 000 ккал/час на сланце) целесообразность двух узлов автоматике, а именно: регулирования количества вторичного воздуха а) регулятором соотношения первичного

Условные обозначения

- | | | |
|-----------|-----------|-----------------------|
| — | Вода | } Импульсные
линии |
| - - - | Воздух | |
| · · · · · | Спирт | } Электр. связь |
| — · — · — | Газ | |
| — | Вода | } Щит котла |
| — | Щит котла | |

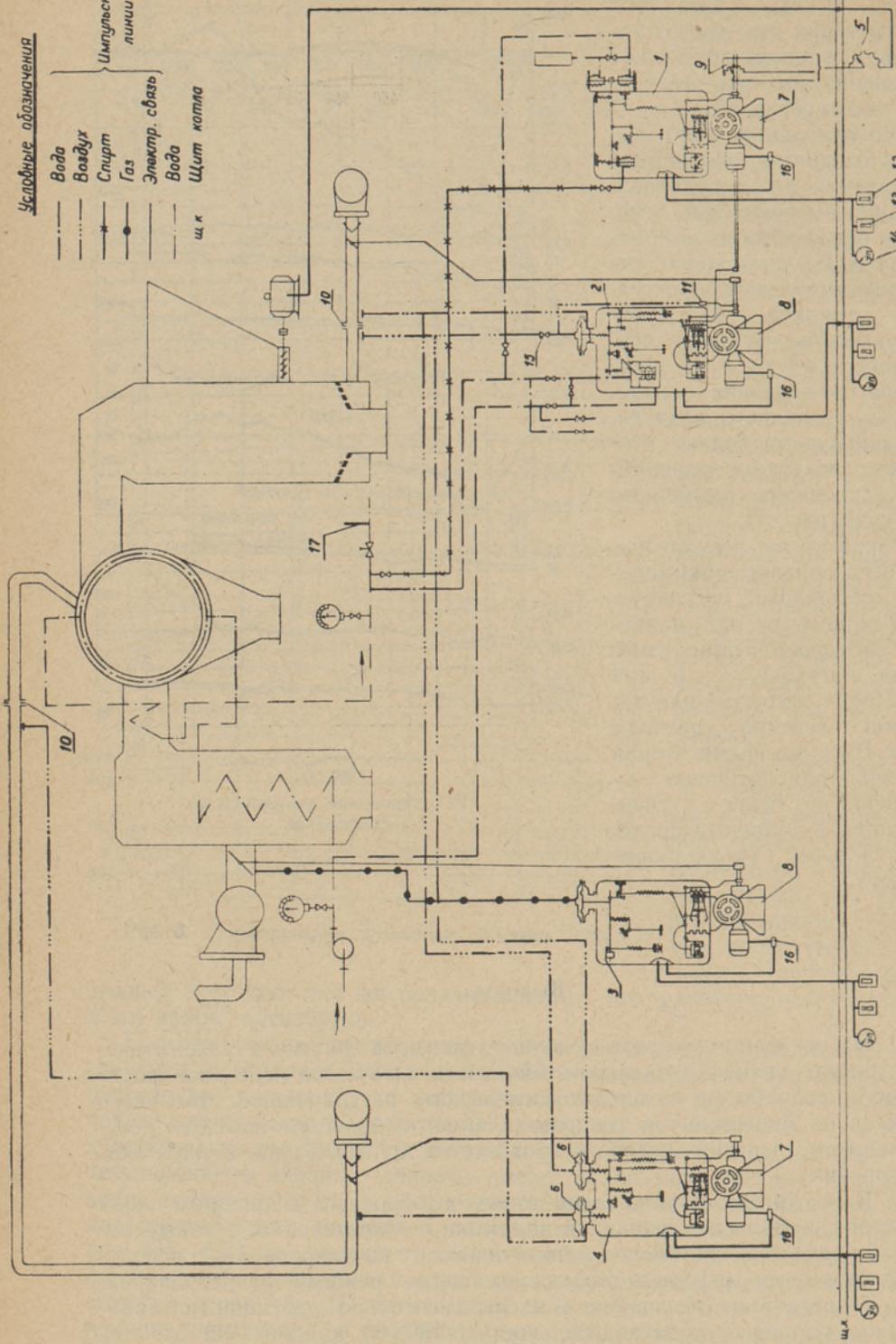


Рис. 8. Схема регулирования установки по схеме «1а».

1 — колонка регулирования температуры, 2 — колонка регулирования воздуха, 3 — колонка регулирования разрежения, 4 — колонка регулирования соотношения первичного и вторичного воздуха, 5 — регулирующий реостат ручного регулирования, 6 — импульсный орган колонки регулирования, 7—8 — исполнительные механизмы, 9 — реостат регулирования, 10 — шайба измерительная, 11 — изодром-корректор, 12 — переключатель управления, 13 — ключ управления, 14 — указатель положения, 15 — дроссельное устройство, 16 — магнитный контактор реверсивный, 17 — термометр.

и вторичного воздуха (схемы «а»), б) электронным регулятором вторичного воздуха по температуре газов за второй ступенью топки (схемы «б»).

В обоих узлах системы регулирования первичного воздуха рассматривались по схемам «вода-воздух», «вода-топливо» и трехимпульсного регулятора «вода-воздух» с исчезающим импульсом по топливу.

Теоретически доказана и экспериментально проверена целесообразность применения двухимпульсного регулятора топлива, в котором, кроме импульса по температуре воды, вторым импульсом берется исчезающий импульс по расходу воды.

4. В результате исследования выбрана оптимальная схема регулирования установки, состоящая из: а) двухимпульсного регулятора топлива, б) трехимпульсного регулятора первичного воздуха и в) регулятора соотношения первичного и вторичного воздуха.

5. На основании экспериментальной части работы доказано, что при работе установки на постоянной нагрузке колебания температуры воды укладывались в пределы $\pm 1,0^\circ$, а температура газов за второй ступенью $\pm 20^\circ$ в обоих узлах системы регулирования. При переходных процессах в условиях мгновенного изменения нагрузки (например, $\pm 10\%$) максимальные отклонения вышеуказанных температур составили по оптимальной схеме соответственно $\pm 7,0-8,0^\circ$ и $\pm 35-45^\circ$. Для дальнейшего уменьшения отклонения температуры воды при переходных процессах необходимо конструктивно уменьшить запаздывание действий регулирующего органа топлива путем улучшения условий теплопередачи во второй ступени, что может быть достигнуто путем уменьшения сечения водяной рубашки.

6. Разработаны рациональные схемы регулирования для топочного процесса на одном виде топлива с высоким содержанием летучих веществ, в которых использована типовая регулирующая аппаратура и которые могут быть применены в случае автоматического регулирования горения и на других видах топлива, сжигаемых двухступенчатым способом, в том числе и на топливе с большим выходом летучих веществ, а также и на топливе с высокой относительной теплотворностью кокса.

7. На основании исследования предлагаемой схемы регулирования, выполненной на лабораторной установке, можно рекомендовать схему регулирования промышленной опытной установки, проектирование которой уже закончено. Она состоит из водотрубного котла производительностью 12,5 тонн в час и из топки с кипящим слоем для мелкого сланца. На этой установке будет исследована выбранная схема. При этом предполагается, что и для этой установки рациональной будет схема, при которой вторичный воздух регулируется регулятором соотношения первичного и вторичного воздуха, так как электростанция получает топливо из одного рудника и поэтому качество топлива практически не изменяется. В этом случае изменению будут подлежать только чувствительные элементы регулятора топлива КРТ.

1. Я. З. Бейрах, Предварительные соображения о разработанных в Московском отделении ЦКТИ новых схемах авторегулирования процесса горения барабанных паровых котлов, Отчет МО ЦКТИ, 1954.
2. Ю. Г. Корнилов, Системы автоматического регулирования котлоагрегатов, Диссертация, Киевский политехнический институт, Киев, 1955.
3. Ю. Г. Корнилов и В. Д. Пивень, Основы теории автоматического регулирования, Мангиз, М.—Л., 1947.
4. Э. Ю. Кюннап, Автоматическое регулирование горения сланца в топках паровых котлов, Диссертация, Институт энергетики АН ЭССР, Таллин, 1955.
5. Х. К. Труу, Теория и практика сжигания горючего сланца, Диссертация, Энергетический институт им Г. М. Кржижановского АН СССР и Институт энергетики АН ЭССР, Москва и Таллин, 1951.

PÕLEVKIVI PÕLEMISE AUTOMAATNE REGULEERIMINE KEEVKIHIGA SEADMES

E. KÜNNAP,
tehniliste teaduste kandidaat

Resümee

Kasvavad nõudmised elektrienergia ja ehitusmaterjalide tootmisele põhjustasid seda, et hakati enam uurima kohaliku kütuse — põlevkivi omadusi ja tema ratsionaalsemaid kasutamise viise. Põlevkivi sisaldab väga suurel määral mitteorgaanilisi aineid, mida võib kasutada ehitus-sideaine valmistamiseks, kusjuures põlevkivi orgaanilise ja mineraalse osa kompleksne kasutamine peab toimuma samaaegselt.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis on välja töötatud peenpõlevkivi põletamise meetod kaheastmelises keevkihiga koldes, kus mineraalne osa muudetakse kõrgeväärtuslikuks ehitus-sideaineks, aga orgaaniline osa põletatakse mehaanilise ja keemilise kaota. Nimetatud protsess on kõrge intensiivsusega ja ilma automaatikata küllaltki raske juhtida. Kõrge intensiivsus saavutatakse kütuse kiire kuumutamise ja lenduvate ainete eraldumisega esimese astme hapnikutsoonis ning lendkoksi ja lenduvate ainete järelpõlemisega teises astmes. Selles seadmes toimub tuha suurema osa kinnipüüdmine, nii et läbi katla gaasikäikude läheb ainult 20÷25% tuha üldhulgast.

Erinevalt tavalistest põlemise reguleerimistest, reguleeritakse käesoleval juhtumil gaaside temperatuuri pärast teist astet, milline reguleerimine on vajalik lendtuhast kõrgeväärtusliku ehitus-sideaine saamiseks.

Kasutades meetodit, mille esitas prof. I. N. Voznessenski, ning eksperimentaalseid andmeid, koostati seadme võrrandid vee- ja gaasitrakti järgi, mis on vajalikud tema reguleerimisskeemide teoreetiliseks uurimiseks.

Seadme reguleerimiseks kasutati järgmisi regulaatoreid: 1) elektromehaanilist kütuse regulaatorit, 2) sama tüüpi primaar-õhu regulaatorit, 3) sekundaar-õhu regulaatorina: a) elektromehaanilist õhkude suhte regulaatorit või b) elektronregulaatorit.

Üldse uuriti 6 skeemi, kus primaar-õhk reguleeriti a) kolmeimpulsi- lise regulaatoriga vee kulu ja kütuse reguleerimisorgani asendist saadud kaduva impulsi järgi, b) vee kulu ja c) kütuse kulu järgi.

Sekundaar-õhu hulk reguleeriti a) primaar-õhu kulu järgi õhkude suhte regulaatoriga või b) gaaside temperatuuri järgi pärast teist astet elektronregulaatoriga.

Kuna kütuse regulaatori tundlikuks elemendiks oli piiritusega täidetud termosüsteem ning teise astme moodustas silinder, millel oli 40 mm paksune veesärk ja milles soojuse ülekanne toimus ainult ühelt poolt, siis tekkis hiline mine vee temperatuuri taastamisel kütuse hulga muutuse tagajärjel. Selle hiline mine suurus oli keskmiselt 50 sek., mõjudes negatiivselt ülemineku protsessile. Kõikide skeemide puhul koormuse äkilisel muutusel 10% kõikus vee temperatuur $11 \div 13^\circ$.

Kasutades kaheimpulsilist kütuse regulaatorit, kus teine, kaduv impulss saadi vee kulu muutuse järgi, saavutati ülemineku protsessi tunduv paranemine ning vee temperatuuri muutus ulatus analoogilistel tingimustel $7 \div 8^\circ$ -ni. Sealjuures teine reguleeritav suurus — gaasi temperatuur pärast teist astet — muutus $35 \div 45^\circ$.

Lõplikult valiti reguleerimisskeem, mis koosnes 1) kaheimpulsilisest kütuseregulaatorist, 2) kolmeimpulsilisest primaar-õhu regulaatorist ning 3) primaar- ja sekundaar-õhu suhte regulaatorist.

Valitud skeem rakendatakse sama tüüpi koldega aurukatlas peenpõlevkivi põlemise reguleerimiseks, kusjuures sel juhtumil muudatus tehakse ainult kütuse regulaatori tundliku elemendi konstruktsioonis.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut*

Saabus toimetusse
4. I 1956

AUTOMATIC REGULATION OF THE BURNING OF OIL SHALE IN BOILING LAYER

E. KÜNNAP

Summary

Extremely high contents of the inorganic part ($42 \div 56\%$ of working fuel), constituting a valuable building binder, are the cause of the fact that extensive use of the local fuel — oil shale — is most rational only at its complex utilization.

The Institute of Energetics of the Estonian SSR has worked out methods of burning oil shale in two-step laboratory furnaces with a boiling layer, at which there is practically no chemical or mechanical under-combustion and the inorganic part is turned into high quality binder.

At a full mechanization of the process and by applying a high-speed method of burning, the automatic regulation of burning is both possible and absolutely necessary. It plays an especially important part in the present case, as to the usual tasks of regulating burning is added also the necessity of maintaining optimum conditions for thermal transformation of the inorganic parts of the oil shale into building binder.

Making use of the method proposed by Professor I. N. Voznesensky, equations for the installations of the water and gas-air tracts have been worked out on the basis of experimental data, which are necessary for the theoretical investigation of the schemes of regulating the process of burning in the furnace.

On the basis of theoretical calculations and of the experimental data we obtain a final scheme of regulation, which consists of: 1) a two-impulse regulator of the fuel, in which the second vanishing impulse is taken according to the consumption of water; 2) a three-impulse regulator of primary air, which regulates the feeding of air into the first stage, and

3) a regulator of secondary air (maintains a definite ratio between the primary and the secondary air). In the transitional processes at an instantaneous change of the load by 10%, one quantity to be regulated — the temperature of the water — changes no more than by $7\div 8^\circ$, and the second — the temperature of the gases — no more than by $30\div 45^\circ$.

The selected scheme is applied for regulating a trial industrial installation consisting of a furnace of similar construction and a boiler of the capacity of 12.5 t/hour. In this case it is necessary to change only the sensitive parts of the fuel regulator.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Energetics*

Received
Jan. 4, 1956