

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОТДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИНСТИТУТ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

На правах рукописи

В. К. КРУКОВСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА
ЛИСИЧАНСКОГО КАМЕННОГО УГЛЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук
И. Л. ФАРБЕРОВ

Москва — 1956

ВВЕДЕНИЕ

Директивы XX съезда КПСС указывают на необходимость повышения технического уровня производства на основе дальнейшего внедрения электроэнергии в промышленность и развития передовой технологии. Применение электричества позволяет, в ряде случаев, автоматизировать сложные технологические процессы, протекающие при высоких температурах, и повысить культуру производства.

Существенный интерес представляет использование электрического тока в качестве теплоносителя при термической переработке углей и сланцев. Электрические способы нагрева топлива могут обеспечить точное регулирование количества подаваемого тепла, быстроту и гибкость нагрева, выделение тепла непосредственно в нагреваемом веществе.

Электрококсование в наземных установках может иметь значительное преимущество по сравнению с обычным коксованием, причем специфические особенности электронагрева позволяют использовать этот процесс для эффективного регулирования энергетического баланса, особенно с вводом в эксплуатацию новых гидроэнергетических сооружений.

В технологии подземной переработки твердых топлив электрический ток позволяет осуществить принципиально новые схемы подготовки подземного пласта топлива к газификации. Промышленное применение получила так называемая электросбойка скважин, т. е. создание между скважинами при помощи электрического тока газопроницаемого канала, являющегося основой дальнейшей газификации угольного пласта фильтрационным методом. Особый интерес, с точки зрения получения высококалорийного технологического газа, представляет способ подземной переработки твердых топлив, при котором электрический ток проходит непосредственно через угольный пласт, причем происходит выделение продуктов коксования и образуется раскаленный пористый коксовый остаток, представляющий хорошо подготовленную основу для газификации фильтрационным методом.

В настоящее время разработка метода непосредственного нагрева пласта топлива электрическим током находится в стадии лабораторных и модельных исследований. Для экстраполяции

114219

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А.Н. Киргизской ССР

данных, получаемых в лабораторных условиях на природные условия, необходимо было разработать основы теории этого процесса. При этом одним из важнейших вопросов является теоретическое и экспериментальное изучение нестационарного температурного поля при электрическом нагреве угля от центрального источника.

Закономерности, определяющие развитие температурного поля в угле, являются исходными данными для изучения вопросов, связанных с термической переработкой угля, и позволяют обоснованно подойти к определению характеристик электрооборудования при электротермической переработке угля в природных условиях.

Настоящая работа посвящена изучению процесса непосредственного нагрева угля электрическим током, причем основное внимание уделялось закономерностям развития температурного поля в коксующем угле.

Методика исследования

Процесс нагрева топлива непосредственно электрическим током характеризуется некоторыми особенностями, связанными со свойством угля проводить электрический ток при нагревании до определенной температуры. Таким образом, граница центральной тепловыделяющей части угля непрерывно расширяется по мере его нагревания и определяется в данный момент времени положением некоторой изотермы.

При рассмотрении результатов опытов границей токопроводящей и, следовательно, тепловыделяющей области угля условно принята изотерма 550°C . Изотерма 800°C принята для сравнения результатов опытов, полученных при различных температурах.

Опыты проводились с целиками и шихтой лисичанского каменного угля.

Нагрев угля производился от центрального токопроводящего канала к периферии.

Первоначальный токопроводящий канал создавался посредством сверления угольного целика по продольной оси сверлом диаметром 7 мм, с последующим наполнением полученного канала коксом лисичанского угля. В опытах с шихтой первоначальный токопроводящий канал был выполнен в виде бумажной трубки диаметром 10 мм, наполненной коксом того же угля.

Электрический ток подводился к торцам первоначального токопроводящего канала. Параметрами процесса в каждом от-

дельном опыте являлись мощность электрического тока и длина токопроводящего канала. Отношение мощности тока к длине канала определяло величину удельной мощности — P для данного опыта.

Удельная мощность менялась от опыта к опыту, оставаясь постоянной в течение одного опыта. Такой режим ведения опытов при постоянной удельной мощности был выбран по тем соображениям, что процесс электрококсования в практических условиях будет протекать также при постоянной мощности, определяемой мощностью установленного электрооборудования.

Измерение температурного поля производилось хромельалюмелевыми термопарами, отградуированными с помощью потенциометра. Для измерения температуры выше 1100°C применялся переносный потенциометр. Термопары помещались в кварцевые чехлы и были расположены на определенном расстоянии от оси первоначального канала в плоскости, перпендикулярной этой оси, причем горячие спаи термопар находились в плоскости первоначального токопроводящего канала.

Установка состояла из текстолитового ящика, футерованного изнутри шамотным кирпичом. Ящик заполнялся сухим песком, в который помещался образец угля. Electroды вводились через направляющие на боковых стенках ящика и в течение опыта плотно прижимались пружинами к торцам первоначального токопроводящего канала. Напряжение на электроды подавалось от сварочного трансформатора, питаемого от сети 220в через регулировочный автотрансформатор. Электрические измерения осуществлялись приборами класса 0,5, включаемыми, при измерении тока, через трансформатор тока.

Установка для опытов с шихтой имела все основные элементы описанной выше установки для опытов с целиками. Шихта засыпалась в камеру, выложенную из шамотного кирпича, внутренним размером $260 \times 260 \times 260$ мм, помещенную в текстолитовый ящик. Пространство между стенками шамотной камеры и ящика засыпалось песком.

Подготовка опыта заключалась в следующем: образец целика угля с подготовленным токопроводящим каналом и гнездами для термопар помещался в текстолитовый ящик таким образом, чтобы ось токопроводящего канала совпала с осью электродов. Electroды плотно прижимались к торцам токопроводящего канала пружинами. В соответствующие гнезда вставлялись термопары в кварцевых чехлах, после чего пространство между образцом угля и футеровкой заполнялось сухим песком и установка подключалась к электрической схеме.

При опытах с шихтой шамотная камера заполнялась до половины высоты шихтой угля, после чего устанавливались иницирующий стержень и чехлы для термопар и камера полностью загружалась шихтой.

Признаком нормального течения опыта служило монотонное и закономерное изменение электрических величин, обуславливающих данный режим опыта, по известному соотношению

$$I = \frac{P}{U}, \text{ причем по условию опыта } P = \text{const.}$$

Постоянная для данного опыта мощность поддерживалась в течение всего опыта при помощи регулировочного автотрансформатора.

Наблюдаемыми величинами в опытах являлись показания термопар, записываемые в определенные моменты времени от начала опыта.

Результаты опытов и их обсуждение

Основная серия опытов была проведена с целиками и шихтой лисичанского угля при постоянной влажности около 10%, т. е. главной целью настоящей работы было изучение развития температурного поля при различной интенсивности электронагрева угля.

Экспериментальные данные по замеру температур в различных точках целиков и шихты угля позволяют представить процесс электронагрева угля следующим образом.

Температура в любой точке угля, по достижении 100°C стабилизируется на более или менее продолжительное время и далее плавно возрастает до некоторого предельного значения.

Таким образом, процесс нагрева влажного топлива характеризуется наличием изотермического слоя, теплопередача через который за счет теплопроводности отсутствует.

Вследствие этого, в случае нагрева топлива от центрального источника тепла, теплопотери в окружающую среду за пределами изотермического слоя не оказывают влияния на развитие температурного поля в интервале от 100°C до максимальной температуры процесса, где процесс нагрева определяется, в основном, теплопроводностью топлива. Следует отметить, что при электронагреве шихты, газопроницаемость которой достаточно велика, наряду с теплопроводностью известное влияние оказывает конвективный перенос тепла выделяющимися газами. В случае нагрева целиков угля, газопроницаемость которых

до температуры порядка 500°C весьма незначительна, конвективный перенос тепла практически отсутствует.

Конечная температура в различных точках коксуемого угля зависит от удельной мощности и теплопотерь в окружающую среду.

Опыты, проведенные при различной удельной мощности, показали, что максимальная температура процесса электрококсования не возрастает непрерывно в течение каждого отдельного опыта, несмотря на постоянный подвод энергии, а стабилизируется, достигнув определенного предельного значения. Это предельное значение температуры зависит от величины удельной мощности.

Максимальная температура процесса, соответствующая данной удельной мощности, устанавливалась прежде, чем тепловая волна достигала поверхности целика или засыпки угля, т. е. ранее, чем на процесс начинали оказывать влияние теплопотери в окружающую среду. Таким образом, ограниченные размеры модели в рассматриваемых опытах не оказывали влияния на максимальную температуру процесса.

С увеличением удельной мощности максимальная температура процесса возрастает вначале интенсивно, а затем все более замедленно, асимптотически приближаясь к некоторому предельному значению. Увеличение удельной мощности выше 200 Вт/см почти не вызывает дальнейшего повышения максимальной температуры процесса.

Минимальная температура процесса электронагрева угля лежит в пределах 500—600°C, т. е. соответствует температуре, определяющей границу токопроводящей и тепловыделяющей части угля.

Прококсованный объем угля после опытов, как для целиков так и для шихты, представляет собой цилиндр симметричный относительно оси первоначального токопроводящего канала. Теплопотери через торцовые части целика угля и электроды незначительны и не искажают сколько-нибудь заметно цилиндрическую форму прококсованного объема угля.

Величина прококсованного объема угля в течение опыта определяется положением некоторой изотермической поверхности. Температура на этой поверхности является минимальной температурой прококсованного объема угля, так как вследствие неравномерности нагрева угля при электронагреве от центрального источника тепла температура остальной части прококсованного объема значительно выше.

В случае протекания процесса электронагрева угля в неограниченной среде, как это имеет место в естественных условиях залегания пласта топлива, последнее испытывает тепловое воздействие в диапазоне температур от максимальной температуры процесса, обусловленной данной удельной мощностью и превышающей, как правило, 1000°C , до температуры окружающей среды.

Таким образом, уголь одновременно находится во всех стадиях термического воздействия от подсушки до высокотемпературного коксования, поэтому термин «электрококсование» не отражает сущности процесса подземной термической переработки топлив электрическим током и является в значительной мере условным.

В то же время, по мере увеличения радиуса токопроводящей и тепловыделяющей области угля, интенсивность тепловыделения в единице объема, а следовательно, и скорость нагрева убывают в первом приближении пропорционально квадрату радиуса.

Как известно, изменение скорости нагрева существенно отражается на выходе и качестве продуктов термического разложения топлива.

В частности, увеличение скорости нагрева уменьшает пиролиз химических продуктов термического разложения угля и снижает выход газа.

Таким образом, каждая точка коксуемого угля отличается своеобразным температурным режимом, обуславливающим соответствующие этому режиму выход и качество продуктов термической переработки.

В результате опытов установлено, что прококсованный объем угля прямо пропорционален времени, при данной удельной мощности, что указывает на постоянную объемную скорость коксования. Объемная скорость электрококсования зависит от удельной мощности. Абсолютное значение объемной скорости коксования монотонно возрастает с увеличением удельной мощности. Объемная скорость коксования, отнесенная к единице удельной мощности, имеет максимальное значение при удельной мощности, несколько превышающей 200 вт/см .

Прококсованный объем угля прямо пропорционален подведенной электроэнергии, причем коэффициент пропорциональности зависит от удельной мощности. Таким образом, удельный расход электроэнергии на единицу прококсованного объема целлика или шихты угля есть величина переменная, зависящая от удельной мощности. Эта зависимость носит экстремальный

характер, причем минимальный расход электроэнергии соответствует в рассматриваемых опытах величине удельной мощности порядка $200\text{—}250\text{ вт/см}$. С уменьшением удельной мощности по сравнению с оптимальным значением удельный расход электроэнергии возрастает. Увеличение удельной мощности выше оптимального значения в меньшей степени влияет на возрастание удельного расхода электроэнергии.

В таблице 1 приведены удельные расходы электроэнергии q при электронагреве угля с различной удельной мощностью P , определенные экспериментально при температуре на границе коксовой зоны 550 и 800°C .

Таблица № 1

P вт/см	Ц е л и к		Ш и х т а	
	q квтч/кг		q квтч/кг	
	550 °C	800 °C	550 °C	800 °C
20	0,82	—	1,07	—
50	0,64	0,97	0,71	1,30
100	0,55	0,68	0,62	0,86
200	0,45	0,55	0,38	0,49
300	—	—	0,42	0,52
400	—	—	0,55	0,60
500	0,57	0,62	0,64	0,71

Наличие минимального удельного расхода электроэнергии при электронагреве угля, отвечающего вполне определенной удельной мощности, является крайне важным обстоятельством; позволяющим определить наивыгоднейший, с точки зрения затраты электроэнергии, режим ведения процесса.

Максимальная температура процесса при удельной мощности порядка 200 вт/см , соответствующей минимальному удельному расходу электроэнергии, достигает 1250°C . Вследствие этого, процесс непосредственного нагрева угля электрическим током от центрального источника нельзя использовать для полукоксования топлива, так как снижение максимальной температуры нагрева хотя бы до 800°C , что соответствует удельной мощности, примерно, 20 вт/см , весьма значительно увеличивает удельный расход электроэнергии. Температура же полукоксования, лежащая в пределах $500\text{—}600^{\circ}\text{C}$, вообще является минимальной температурой непосредственного нагрева угля электрическим током, причем соответствующая ей удельная мощность столь незначительна, что удельный расход электроэнергии превышает свое минимальное значение в десятки раз.

Зависимость удельного расхода электроэнергии от удельной мощности может быть объяснена следующим образом. Процесс электрококсования с центральным обогревом характеризуется весьма большой степенью неравномерности нагрева угля электрическим током. В то время, как центральная часть угля нагрета до высоких температур, значительная периферийная часть угля нагрета до относительно низких температур, снижающихся по мере удаления от центра до температуры окружающей среды. Такое распределение всего тепла, затрачиваемого на процесс, является специфической особенностью нагревания тел электрическим током или другим источником тепла при центральном расположении тепловыделяющего элемента. При высокой интенсивности процесса, определяемой величиной удельной мощности, значительная часть тепла, затрачиваемого на процесс, расходуется на перегревание до высоких температур уже прококсованного объема угля; при низкой интенсивности значительная часть тепла затрачивается на нагревание угля ниже температуры коксования. Соответственно этому возрастает удельный расход электроэнергии для удельной мощности выше 300 вт/см и ниже 200 вт/см.

В результате полученного представления о распределении тепла при нагреве топлива одиночным центральным источником тепла, можно объяснить отмеченный выше замедленный рост удельного расхода электроэнергии при удельной мощности процесса выше оптимальной. В самом деле, повышение удельного расхода электроэнергии при высоких значениях удельной мощности объясняется увеличением доли тепла на перегрев центральной части загрузки в общем количестве тепла, расходуемого на нагрев угля, т. е. повышением температуры в средней части угля. В то же время, как было установлено ранее, максимальная температура в центре загрузки при увеличении удельной мощности, асимптотически стремится к предельному значению. Поэтому дальнейшее повышение удельной мощности не увеличивает заметно долю тепла, расходуемого на перегревание до высоких температур средней части загрузки, а это, в свою очередь, приводит к тому, что удельный расход электроэнергии при увеличении интенсивности процесса стремится к некоторой предельной величине.

КПД процесса электронагрева угля одиночным центральным источником тепла может быть представлен в виде отношения

$$\eta_k = \frac{q_k}{q} \quad (1)$$

q_k — количество тепла, необходимое для равномерного нагрева единицы объема или веса угля до заданной температуры и определяемое по обычной формуле:

$$q_k = m_r C_r (t_k - t_n) + m_v (100 - t_n) + m_v L + m_v C_p (t_k - 100) \quad (2)$$

где:

m_r — к-во сухого угля на 1 кг рабочего топлива

C_r — средняя теплоемкость угля

t_k — конечная температура нагрева

t_n — начальная температура

m_v — к-во воды на 1 кг рабочего топлива

L — скрытая теплота парообразования

C_p — средняя теплоемкость пара

q — удельный расход тепла (электроэнергии) на нагрев единицы объема или веса угля до заданной температуры на границе прококсованного объема при данной удельной мощности, определяемый на основании экспериментальных данных.

В таблице 2 приводятся величины η_k , подсчитанные для минимальных значений удельного расхода электроэнергии, полученных экспериментально.

Следует отметить, что КПД в данном случае характеризует не теплотери в окружающую среду, а распределение тепла в нагреваемом топливе при непосредственном нагреве последнего одиночным центральным источником тепла и является стабильной величиной.

Таблица № 2

t_k °C	q_{min} квтч/кг	$\eta_k = \frac{q_k}{q_{min}}$
	Ц Е Л И К	
550	0,45	0,67
800	0,54	0,71
	Ш И Х Т А	
550	0,37	0,79
800	0,48	0,79

Повышение КПД возможно лишь при переходе к другим схемам нагрева, например, при использовании нескольких параллельных токопроводящих каналов. В этом случае взаимное влияние отдельных каналов будет как бы соответствовать двустороннему обогреву топлива, при котором повышается коэффициент полезного использования тепла.

Одним из вопросов, представляющих существенный интерес при непосредственном электронагреве твердых топлив, является распределение источника по сечению токопроводящей области угля. Противоположное влияние на распределение источника по сечению оказывают, с одной стороны, большая электропроводность высокотемпературного кокса в центральной части нагреваемого угля, с другой — увеличение сопротивления прококсованного угля в результате усадки и растрескивания кокса в области высоких температур. Для выяснения этого обстоятельства было проведено некоторое количество опытов по следующей методике: после проведения очередного опыта по электронагреву угля, при определенной удельной мощности, ток выключался, но прококсованный целик из установки не выгружался и термопары из него не вынимались. После охлаждения целика по всему объему до температуры окружающей среды, что контролировалось по показаниям термопар, снова включался ток, устанавливалась прежняя мощность и производился замер температур в целике. При этом большей температуре должна соответствовать большая плотность тока, что позволяет судить о распределении тока по поперечному сечению прококсованной части угля. В результате опытов было установлено относительно равномерное повышение температуры по сечению прококсованной части топлива с некоторым превышением температуры в центральной части угля по сравнению с периферией. Таким образом, увеличение сопротивления центральной области угля за счет растрескивания компенсируется большей электропроводностью высокотемпературного кокса, что позволяет сделать вывод об относительно равномерном распределении источника энергии по сечению токопроводящей части топлива.

Исследование процесса непосредственного электронагрева угля методом анализа размерностей.

При исследовании процесса нагрева угля электрическим током ценным приемом для выявления соотношений между переменными величинами является метод анализа размерностей, позволяющий сформулировать соотношения между размерными

величинами, определяющими процесс, в виде соотношения между безразмерными величинами. Комбинирование метода анализа размерностей с соображениями, полученными из эксперимента, приводит в ряде случаев к довольно существенным результатам.

1. Температура в любой точке угля.

Функциональная зависимость температуры в любой точке угля от определяющих параметров при электронагреве в условиях неограниченной среды имеет вид:

$$T = f(r, \tau, P, a, c, T_0, W, l) \quad (3)$$

где:

- T — температура в данной точке угля
- r — расстояние данной точки угля от оси первоначального токопроводящего канала
- τ — время
- P — удельная мощность
- a — температуропроводность угля
- c — теплоемкость угля
- T_0 — температура, условно определяющая границу токопроводящей и тепловыделяющей области угля; в настоящей работе принята равной 550°C
- W — влажность угля
- l — теплота парообразования

Размерности искомой величины и определяющих пара-

метров суть: $[T] = \Theta$; $[r] = L$; $[\tau] = \tau$; $[P] = \frac{E}{L\tau}$; $[a] = \frac{L^2}{\tau}$;

$[c] = \frac{E}{\Theta L^3}$; $[W] = N$ — безразмерный параметр; $[l] = \frac{E}{L^3}$,

где через L , τ , E , Θ выражены, соответственно, размерности основных единиц измерения длины, времени, энергии и температуры.

Безразмерные независимые комбинации, составленные из искомой величины и всех определяющих параметров имеют вид:

$$\Pi = \frac{T}{T_0}; \Pi_1 = \frac{r}{\sqrt{a\tau}}; \Pi_2 = \frac{P}{acT_0}; \Pi_3 = \frac{l}{cT_0}; \Pi_4 = W$$

тогда, согласно П — теореме, соотношение (3) можно представить в виде соотношения между безразмерными параметрами:

$$\Pi = \varphi (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) \quad (4)$$

Величины Π_3 и Π_4 являются безразмерными константами, одинаковыми во всех опытах с данным сортом угля при некоторой постоянной влажности, поэтому для дальнейшего анализа процесса электронагрева угля выражение (4) может быть представлено в виде:

$$\Pi = \varphi (\Pi_1, \Pi_2) \quad (5)$$

или
$$\frac{T}{T_0} = \varphi \left(\frac{r}{\sqrt{a\tau}}, \frac{P}{acT_0} \right)$$

Обработка экспериментального материала по формуле (5) показывает, что при данной удельной мощности P , т. е. при некотором постоянном значении критерия $\frac{P}{acT_0}$, процесс нагрева угля иллюстрируется единственной кривой, характеризующей относительную температуру любой точки угля в различные моменты времени. Таким образом, при электронагреве угля в условиях неограниченной среды, любая точка угля проходит, по мере течения процесса нагрева, весь температурный интервал от начальной до максимальной температуры, соответствующей данной удельной мощности.

2. Максимальная температура процесса электронагрева угля.

Максимальная температура — T_* при электронагреве угля от центрального источника тепла будет иметь место, очевидно, на оси первоначального токопроводящего канала при $r=0$. Поэтому, в выражении (5) исключается безразмерный параметр

$\Pi_1 = \frac{r}{\sqrt{a\tau}}$, содержащий r , и величина T заменяется на T_* , что допустимо, поскольку они имеют одинаковую размерность Θ :

$$\frac{T_*}{T_0} = \varphi \left(\frac{P}{acT_0} \right) \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что температура на оси канала не зависит от времени, т. е. должна быть постоянной в течение

опыта. В то же время максимальная температура зависит от удельной мощности.

Формула (6) теоретически обосновывает наличие определенной максимальной температуры процесса, соответствующей данной удельной мощности. Ранее этот вывод был сделан на основании экспериментальных данных. Наличие некоторой предельной температуры на оси канала при электронагреве угля в условиях неограниченной среды является специфической особенностью рассматриваемого процесса, который характеризуется непрерывным расширением токопроводящей и тепловыделяющей части угля, ограниченной в данный момент времени положением некоторой изотермы. Расчетом показано, что при отсутствии расширения токопроводящего канала температура на оси канала при нагреве в условиях неограниченной среды стремится к бесконечности.

3. Объем прококсованной зоны угля

Функциональная зависимость удельного объема прококсованной зоны угля от определяющих параметров имеет следующий вид:

$$V_k = f (\tau, P, a, c, T_0, T_k) \quad (7)$$

где V_k — объем прококсованной зоны угля, приходящийся на единицу длины первоначального токопроводящего канала и имеющий размерность L^2

T_k — температура на границе коксовой зоны, имеющая размерность Θ .

Безразмерные независимые комбинации, составленные из искомой величины и всех определяющих параметров, имеют вид:

$$\Pi = \frac{V_k}{a\tau}; \Pi_1 = \frac{P}{acT_0}; \Pi_2 = \frac{T_k}{T_0}$$

тогда
$$\frac{V_k}{a\tau} = \varphi \left(\frac{P}{acT_0}, \frac{T_k}{T_0} \right)$$

откуда
$$V_k = a\tau \varphi \left(\frac{P}{acT_0}, \frac{T_k}{T_0} \right) \quad (8)$$

Из формулы (8) следует, что прококсованный объем при данной удельной мощности прямо пропорционален времени. Поскольку температура коксования T_k может быть выбрана

произвольно, полученная зависимость объема коксовой зоны от времени сохраняется для любой T_k .

Этот вывод согласуется с полученными ранее экспериментальными данными.

4. Удельный расход электроэнергии

Удельный расход электроэнергии — q зависит от следующих определяющих параметров:

$$q = f(\tau, P, a, c, T_0)$$

Размерность q имеет вид $\frac{E}{L^3}$, тогда

$$П = \frac{q}{c T_0}; \quad П_1 = \frac{P}{a c T_0}$$

На основании П — теоремы:

$$\frac{q}{c T_0} = \varphi\left(\frac{P}{a c T_0}\right) \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что удельный расход электроэнергии не зависит от времени. Этот вывод следует также из прямо пропорциональной зависимости величины прококсованного объема от времени (8).

Из формулы (9) видно, что удельный расход электроэнергии функционально зависит от удельной мощности. Эта зависимость ранее была получена на основании экспериментальных данных.

ВЫВОДЫ

1. Разработка теоретических основ применения электрического тока в качестве теплоносителя при термической переработке углей и сланцев требует прежде всего изучения температурного поля при нагреве твердых топлив электрическим током.

2. Примененная в настоящей работе методика исследования, предусматривающая искусственное создание первоначального токопроводящего канала прямолинейной формы позволила наиболее точно определить основные параметры процесса электронагрева угля и вытекающие из них закономерности. Вместе с тем, прямолинейная форма первоначального токопроводящего

канала является наиболее приемлемой для экстраполяции лабораторных данных на натурные условия.

3. Процесс нагрева влажного топлива характеризуется наличием подвижного изотермического слоя, теплопередача через который за счет теплопроводности отсутствует. Таким образом, в случае нагрева топлива от центрального источника тепла, теплотери в окружающую среду за пределами изотермического слоя не оказывают влияния на результаты опытов.

4. Установлено, что максимальная температура процесса электронагрева угля является постоянной величиной, независящей от времени при данной удельной мощности, и с увеличением последней монотонно возрастает, приближаясь к некоторому предельному значению. Проведенное исследование этого вопроса методом анализа размерностей дает аналогичный результат. Указанная зависимость является специфической особенностью процесса, характеризующегося непрерывным расширением токопроводящей и тепловыделяющей области угля. Расчетом показано, что при отсутствии расширения токопроводящего канала температура на оси канала, при нагреве в условиях неограниченной среды, стремится к бесконечности.

5. Минимальная температура процесса электронагрева угля лежит в пределах $500-600^\circ\text{C}$, т. е. соответствует величине, определяющей начало расширения токопроводящего канала.

6. Экспериментально показано, что прококсованный объем угля при отсутствии теплотери в окружающую среду прямо пропорционален времени при данной удельной мощности, что согласуется с проведенным теоретическим рассмотрением данной задачи.

Прококсованный объем угля прямо пропорционален подведенной электроэнергии, причем коэффициент пропорциональности зависит от удельной мощности.

7. Установлено, что удельный расход электроэнергии на единицу прококсованного объема или веса целлика или шихты угля есть величина переменная, зависящая от удельной мощности. В условиях нашего эксперимента минимальный удельный расход электроэнергии обнаружен при величине удельной мощности порядка $200-250$ вт/см. С уменьшением удельной мощности, по сравнению с оптимальным значением, удельный расход электроэнергии резко возрастает. Увеличение удельной мощности выше оптимального значения в меньшей степени влияет на возрастание удельного расхода электроэнергии.

8. Максимальная температура процесса при минимальном удельном расходе электроэнергии, соответствующем оптимальному значению удельной мощности порядка 200 вт/см, достигает 1250°C. Для снижения максимальной температуры процесса необходимо уменьшать удельную мощность, по сравнению с оптимальным значением, что весьма значительно увеличивает удельный расход электроэнергии. Это обстоятельство свидетельствует о том, что этот процесс нецелесообразно применять для низкотемпературного нагрева топлива (типа полукоксования).

9. Установлено, что КПД процесса нагрева топлива одиноким центральным источником тепла является стабильной величиной и при оптимальных условиях ведения процесса равен, примерно, 70% (при нагреве целиков угля).

10. В результате опытов выявлено относительно равномерное распределение источника энергии по сечению токопроводящей части топлива. Это может быть объяснено тем, что увеличение сопротивления центральной части токопроводящей области угля за счет растрескивания компенсируется большей электропроводностью высокотемпературного кокса.

11. Использованный в настоящей работе при исследовании процесса непосредственного нагрева лисичанского угля электрическим током метод анализа размерностей может быть применен при решении аналогичной задачи и для других видов твердого топлива.

12. Полученные в результате проведенной работы данные позволяют установить оптимальные режимы процесса электронагрева угля и более обоснованно подойти к определению характеристик необходимого электрооборудования, а также могут быть использованы при проведении расчетов и дальнейших работ в этой области.

114219

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР