

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ РАССОРТИ-
РОВКИ РЯДОВОГО УГЛЯ НА ЦЕПНОЙ РЕШЕТКЕ**

Инж. И. А. ЯВОРСКИЙ и С. И. ШАБАНОВ

Сжигание рядовых углей на цепных решетках сопряжено с рядом трудностей, обусловленных большим содержанием мелочи в таких углях.

Известно, например, что аэродинамическое сопротивление слоя рядового угля много выше, а продуваемость его значительно хуже, чем у любого сортированного угля.

Способность угля спекаться или коксоваться еще более увеличивает сопротивление слоя, содержащего мелочь, и еще более затрудняет подвод кислорода к частицам угля за счет частичной или полной ликвидации пор между мельчайшими частицами угля.

Попытки интенсифицировать горение путем увеличения давления дутья, как правило, не приводят к положительным результатам, так как даже при небольшой неравномерности в толщине или плотности слоя рядового угля воздух разрушает слой в наиболее слабых местах, оголяет здесь решетку, а за пределами кратеров набрасывает целые кучи мелкого угля.

Это же явление может возникнуть и вследствие неравномерности в размерах проходных сечений между колосниками.

Образование кратеров влечет за собой большой и бесполезный прорыв дутьевого воздуха в топку и чрезмерное увеличение избытка воздуха в ней, а иногда приводит к падению давления в зонах, если дутьевой вентилятор не имеет достаточного запаса по производительности. Вместе с тем резко ухудшается и без того плохое продувание воздуха через уголь, скопившийся кучами, что может привести к полному расстройству горения.

Все эти явления тем сильнее выражены, чем больше проходное сечение решетки и меньше ее аэродинамическое сопротивление, так как воздух перераспределяется обратно пропорционально сопротивлениям параллельных участков. Так, при живом сечении решетки в 10% скорость воздуха, проходящего через оголенные части решетки, в 6—10 раз выше, чем скорость прохода его через участки, покрытые слоем угля толщиной 165 мм.

Анализ причин возникновения кратерного горения указывает и пути предотвращения как самого явления, так и вредных последствий его.

Прежде всего совершенно недопустимо иметь сколь-либо значительные неплотности в уплотнениях или разницу в величине зазоров между колосниками, что требует весьма тщательного изготовления и монтажа полотна решетки.

Необходимо также стремиться к максимальному уравниванию аэродинамических сопротивлений холостой и загруженной решетки, чего можно достичь за счет увеличения сопротивления собственно решетки и снижения сопротивления слоя рядового угля.

Как будет видно из дальнейшего, целесообразнее всего увеличивать общее сопротивление решетки не за счет повышения коэффициента сопротивления ее, а путем увеличения скоростного напора. Например, в модер-

низированной конструкции решетки коэффициент сопротивления колосников, по сравнению с колосниками БЦР-1, даже уменьшен, но благодаря уменьшению живого сечения до 6,2% доля скоростного напора стала составлять $\frac{2}{3}$ от общего, поглощаемого решеткой.

При такой конструкции в случае оголения решетки общее сопротивление ее быстро возрастает за счет скоростного напора, ограничивая прорыв воздуха в топку.

Уменьшить сопротивление слоя рядового угля можно путем взрыхления слоя, т. е. увеличения его коэффициента порозности¹⁾, например, за счет рассортировки рядового угля по крупности с таким расчетом, чтобы наиболее крупные куски лежали непосредственно на решетке, а более мелкие располагались над ним слоями в порядке убывания размеров кусков. Помимо значительного сокращения сопротивления слоя и предотвращения кратерообразования, такая рассортировка обеспечивает также хорошее омывание кусков угля воздухом, а следовательно, и высокую интенсивность горения.

Для осуществления подобной рассортировки И. А. Яворским предложен метод, предусматривающий использование для этой цели дутьевого воздуха повышенного давления.

Устройство для пневматической рассортировки рядового угля непосредственно на решетке представляет следующее.

Перед первой зоной решетки устраивается специальная зона рассортировки, короб которой соединяется с отдельным высоконапорным вентилятором. Ширина окон этой зоны для стандартных решеток БЦР составляет 100—120 мм.

Давление в зоне поддерживается таким, чтобы на одном пакете колосников над зоной обеспечить достаточно интенсивное и равномерное кипение слоя топлива, то есть шевеление крупных кусков и подпрыгивание более мелких.

По мере прохода ролика решетки над окном сортировочной зоны давление воздуха под этим пакетом колосников постепенно уменьшается и кипение слоя прекращается. Естественно, что по мере прекращения кипения более крупные и тяжелые куски оседают на решетку в первую очередь, а за ними—все более мелкие. Самые же мелкие частицы угля во время кипения выносятся из слоя в сепарационную камеру, расположенную над зоной рассортировки и отделенную от топки низко свисающим порогом.

При выходе аэромеси из сепарационной камеры в топку наиболее крупные частицы взвешенного угля выпадают на слой рассортированного топлива, и только частицы с диаметром менее размера ячейки сита № 70 выносятся с воздухом и сгорают в факеле над слоем.

Необходимо отметить, что пневматическая рассортировка наиболее легко осуществляется в случае применения упомянутой модернизированной решетки, так как малое живое сечение ее и выполнение межколосниковых каналов в виде суживающихся сопел способствуют созданию больших динамических напоров воздуха, облегчающих кипение слоя.

Для изучения физической стороны явления пневматической рассортировки угля и получения расчетных данных для нее в Транспортно-энергетическом институте ЗСФАН проведен целый ряд экспериментальных исследований для слоя холодного топлива на цепной решетке.

Задачи этих исследований сводились к следующему:

1. Определение аэродинамического сопротивления слоя сортированного угля в зависимости от размера частиц угля, порозности слоя и его толщины, а также от скорости фильтрации.

¹⁾ Коэффициент объемной порозности есть отношение объема пустот к общему объему засыпки.

2. То же для равномерной смеси фракций нескольких размеров при различных весовых соотношениях компонентов. Проводились также опыты с послойным расположением компонентов.

3. То же для рядового угля определенного фракционного состава.

Все опыты проводились для угля Анжеро-Судженского месторождения, причем предварительная рассортировка этого угля на фракции различного размера производилась с помощью сит (в дальнейшем для обозначения фракции указывается сначала диаметр отверстия сита, на котором фракция задерживается, а затем—диаметр отверстия сита, через которое фракция полностью проходит).

Как правило, при каждом опыте слой доводился до кипения, и после прекращения его снова снимались все необходимые характеристики слоя.

Экспериментальная установка, на которой проводились исследования, представляла неподвижный участок натуральной цепной решетки модернизированной конструкции, снизу которой располагалась дутьевая зона, питаемая от вентилятора.

По длине участка укладывалось два пакета (12 шт.) колосников, а по ширине его—полторы длины колосника. Сверху колосников с трех сторон участок ограждался вертикальными металлическими стенками, а с той стороны, где колосники были перерезаны пополам, вплотную к срезам устанавливалось стекло для наблюдения за поведением угля в слое.

Во избежание утечек воздуха все неплотности в бортовых уплотнениях и межколосниковые промежутки по периметру испытательного участка тщательно уплотнялись и промазывались глиной.

Для отсоса запыленного воздуха, прошедшего через слой, весь отрезок решетки, на котором выделялся испытательный участок, закрывался металлическим коробом, соединенным с дымоходом расположенного рядом котла.

Замер расхода дутьевого воздуха производился с помощью пневмометрической трубки, установленной на прямом участке воздуховода от вентилятора и соединенной с микротягомером типа „Ксидин“.

Разность давлений в зоне и над слоем замерялась обычным *U*-образным жидкостным дифманометром.

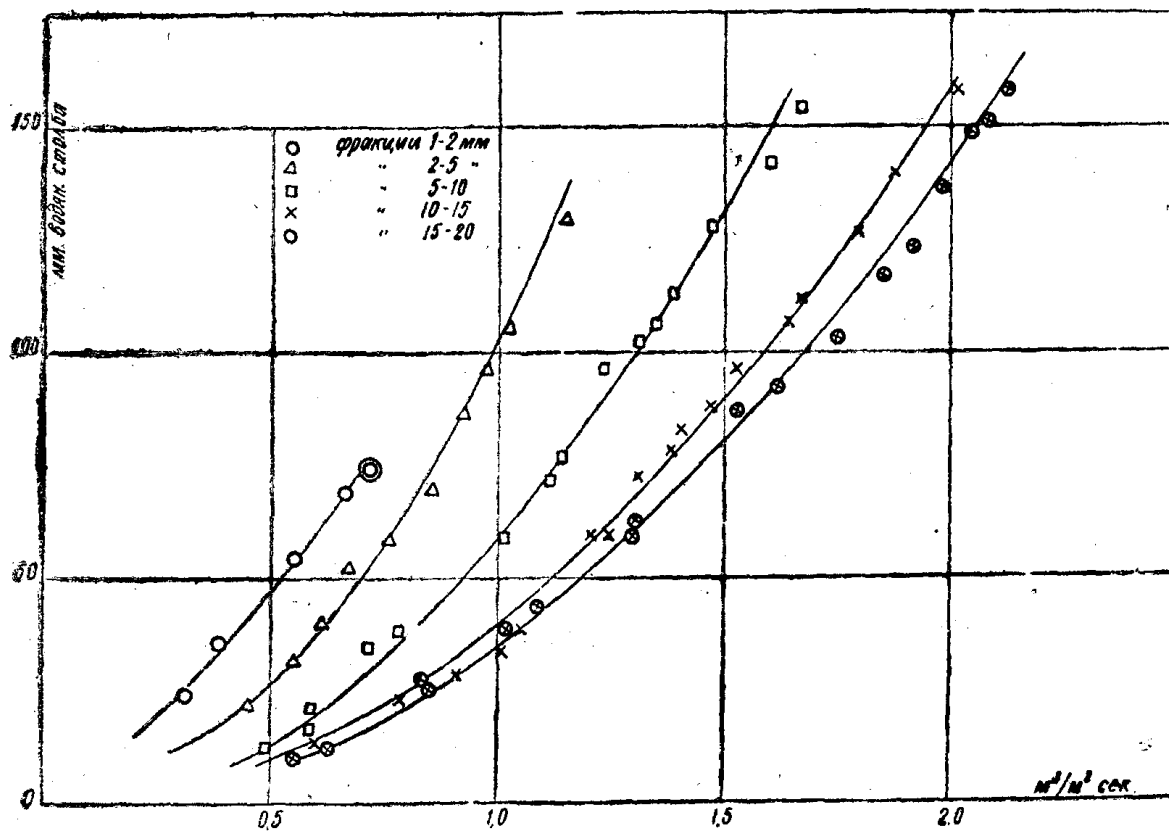
Аэродинамические сопротивления слоя определялись по показаниям этого дифманометра, из которых вычиталось собственное сопротивление решетки, периодически определяемое на основе специальных опытов при отсутствии угля на решетке.

Первая серия опытов проводилась для слоя, составленного из какой-либо одной фракции рассортированного топлива. Были исследованы фракции с размером 15—20 мм, 10—15 мм, 2—5 мм и 1—2 мм.

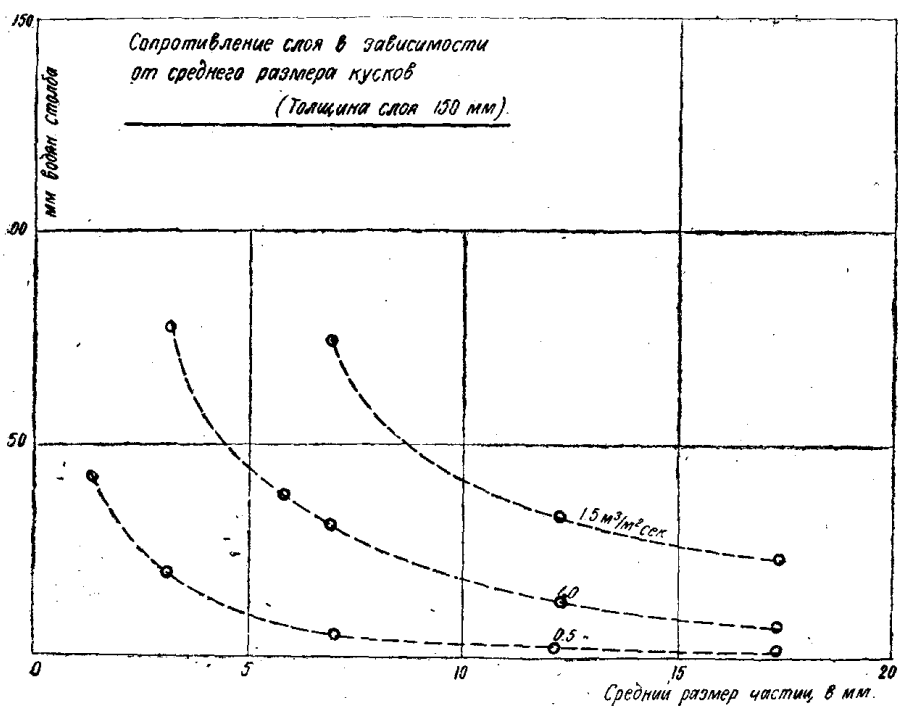
На графике фиг. 1 представлена зависимость потребного давления под решеткой от скорости фильтрации воздуха¹⁾ через слой угля толщиной 150 мм для различных по крупности фракций, а кривые фиг. 2 иллюстрируют зависимость сопротивления слоя от среднего размера частиц угля для разных скоростей фильтрации.

Как видно из этих кривых, сопротивление слоя возрастает с уменьшением размера частиц угля и тем скорее, чем больше скорость фильтрации. При практически применяемых скоростях фильтрации сопротивление слоя особенно быстро возрастает с уменьшением размера частиц ниже 5—6 мм. Следовательно, этот размер является нижним пределом крупности, при которой уголь может относиться к категории сортированных, тем более что слой, составленный из более мелких частиц, теряет устойчивость, кипит при более низких скоростях фильтрации, чем необходимые для интенсивного горения (фиг. 1).

¹⁾ Скорость фильтрации определяется расходом воздуха в м³/сек, приходящимся на 1 м² площади полотна решетки.

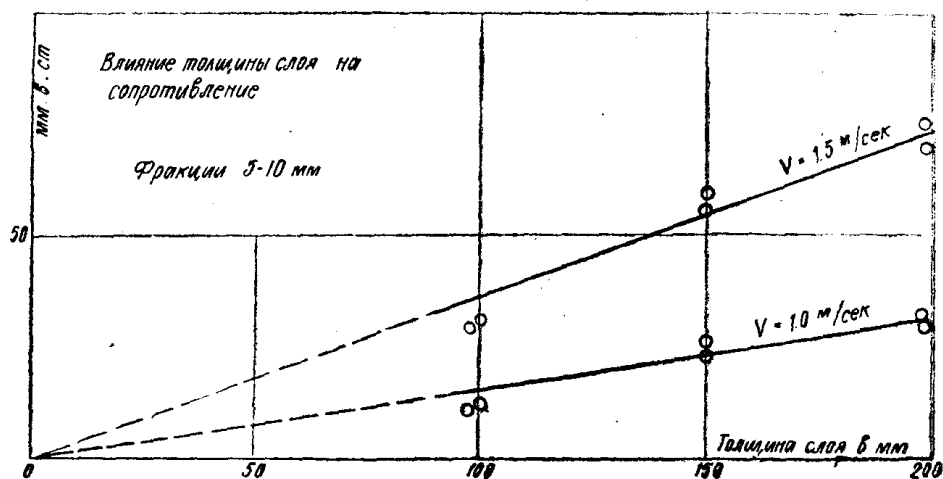


Фиг. 1



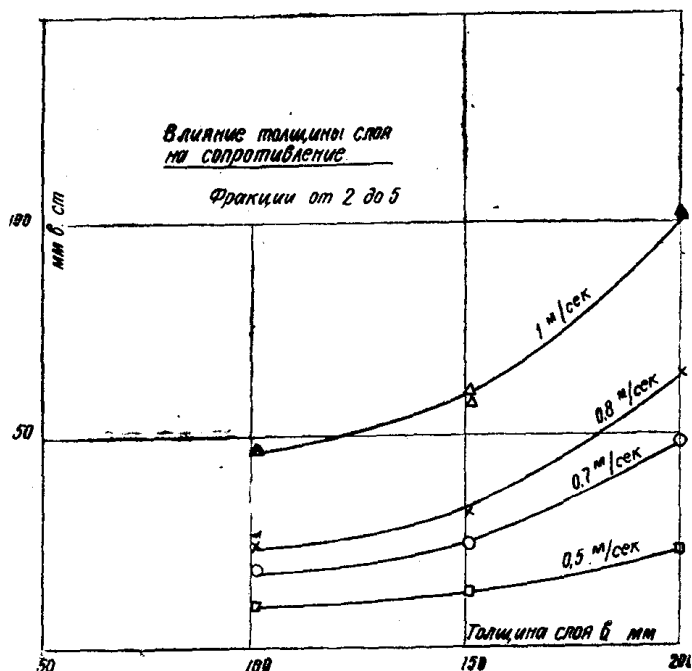
Фиг. 2

Влияние толщины слоя на его сопротивление иллюстрируется кривыми фиг. 3 и 4. Для крупных фракций эта зависимость может быть принята за линейную, однако у мелких фракций, особенно при повышенных скоростях фильтрации, ясно видно отклонение от линейного закона. Повидимому, это



Фиг. 3

объясняется следующим. При скорости фильтрации более $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{сек}$ начинается шевеление наиболее мелких частиц в толще слоя. При этом частицы поворачиваются так, что проходное сечение слоя увеличивается.



Фиг. 4

Доказательством этого может служить то, что, как показал опыт, для мелких фракций коэффициент сопротивления слоя, начиная с определенной скорости фильтрации, уменьшается с возрастанием этой скорости.

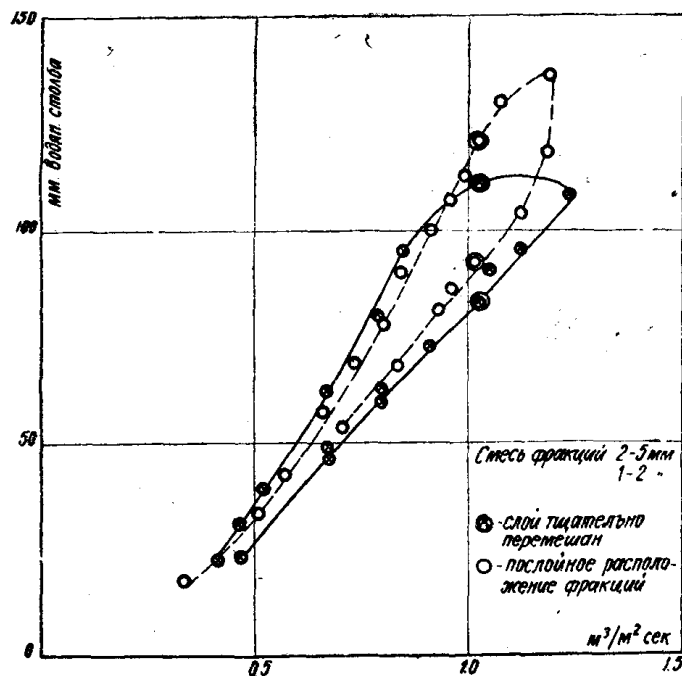
Чем толще слой угля, тем больше удельное давление его на нижележащие частицы угля, обусловленное весом слоя. Поэтому с увеличением толщины слоя затрудняется шевеление частиц угля и аэродинамическое

сопротивление слоя возрастает, а зависимость его от скорости все более приближается к квадратичной.

В задачу второй группы опытов входило изучение аэродинамических характеристик слоя, составленного из равномерной смеси нескольких фракций, взятых в определенных весовых соотношениях.

На фиг. 5, 6 и 7 сплошными линиями изображены зависимости сопротивления слоя от скорости фильтрации для смесей, составленных из равных весовых количеств соответственно двух фракций (1—2 мм и 2—5 мм), трех фракций (2—5 мм, 5—10 мм и 15—20 мм) и четырех фракций (1—2 мм, 2—5 мм, 5—10 мм и 15—20 мм).

В первом и третьем из этих опытов давление под решеткой подымалось до начала устойчивого кипения слоя (точки кривой, отмеченные двойными



Фиг. 5

кружками) и по прошествии некоторого времени снижалось до минимума, затем снова подымалось и, наконец, опускалось до нуля. Во втором опыте (фиг. 6) давление под решеткой продолжали повышать и после начала кипения, а потом повторяли тот же цикл, что и в двух других опытах.

Наблюдения и графики показывают примерно следующую картину явления.

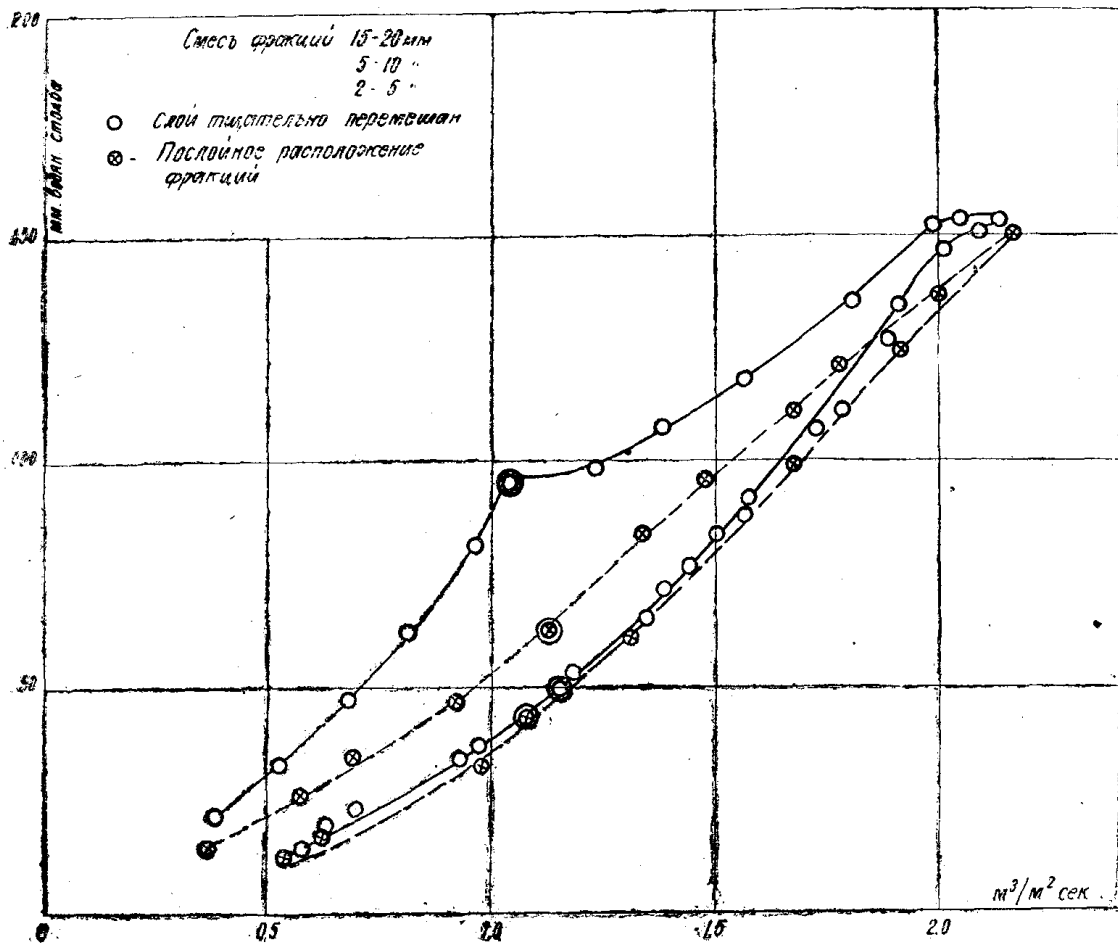
При первом повышении скорости фильтрации в толще слоя постепенно начинается шевеление мелких частиц. Это шевеление при вполне определенной для каждой смеси скорости фильтрации переходит в устойчивое кипение слоя.

При этом чем больше компонентов в смеси, т. е. чем шире диапазон размеров частиц, тем более бурно начинается кипение слоя и тем резче обозначен перелом кривой на фиг. 5—7.

После начала кипения в течение 30—40 сек происходит нарастание скорости фильтрации практически без повышения давления под решеткой, что свидетельствует об уменьшении сопротивления слоя. Это нарастание скорости продолжается до тех пор, пока возрастающее собственное сопротивление решетки и уменьшенное сопротивление кипящего слоя не уравновесится с наличным давлением под решеткой.

Необходимо отметить, что модернизированная цепная решетка, на которой проводились опыты, обладает весьма ценным качеством автоматически предотвращать чрезмерный рост расхода воздуха при кипении слоя, так как благодаря ее малому живому сечению общее сопротивление решетки быстро возрастает с повышением расхода воздуха за счет скоростного напора. Вместе с тем высокие скорости воздуха, выходящего из межколосниковых зазоров, способствуют разрушению и интенсивному кипению слоя.

Наблюдения показывают, что еще до начала кипения, но в основном после него начинается рассортировка слоя по крупности, т. е. выталкива-



Фиг. 6

ние на поверхность слоя более мелких частиц и накопление в нижних слоях крупных.

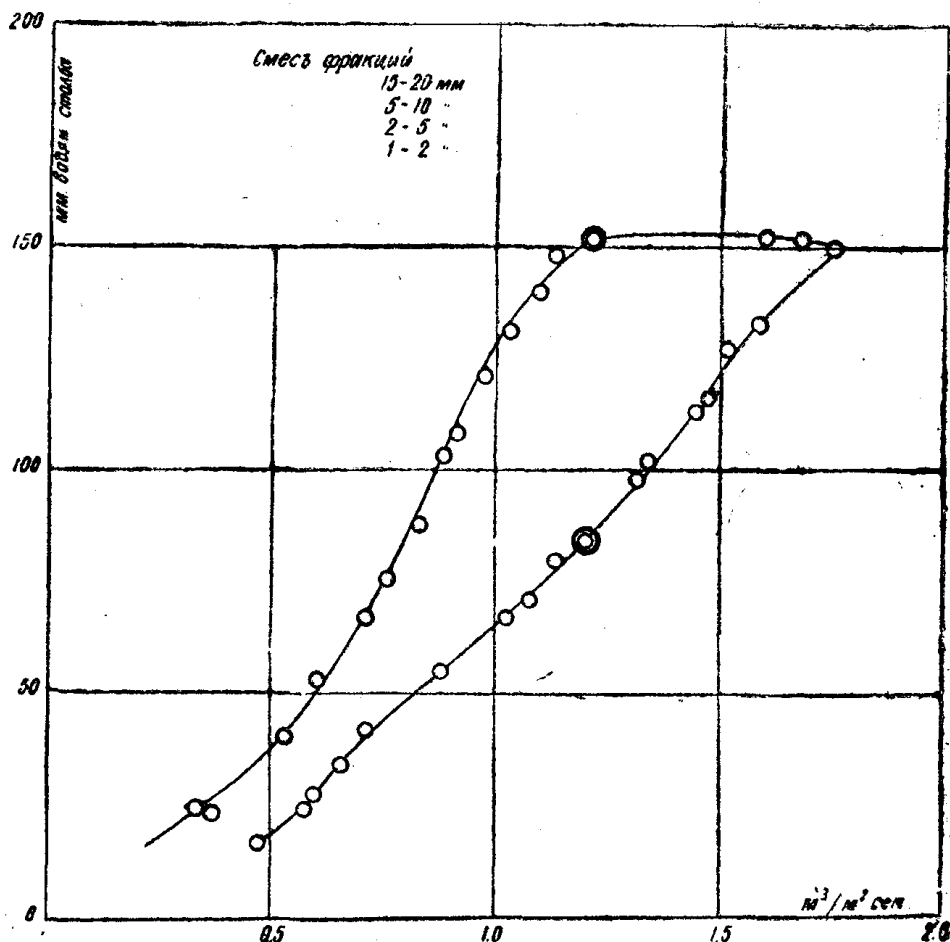
При снижении расхода воздуха кипение слоя постепенно уменьшается. Прекращение устойчивого кипения происходит почти при той же скорости фильтрации, что и начало его, но при значительно меньшем давлении под решеткой (см. точки на соответствующих кривых, отмеченные двойными кружками).

И вообще кривая давления под решеткой при дальнейшем снижении скорости воздуха располагается много ниже соответствующей кривой в процессе первого нарастания скорости.

Повторный процесс подъема скорости фильтрации дает некоторое увеличение сопротивления слоя, что объясняется, повидимому, некоторой утруской, уплотнением слоя в процессе снижения скорости. Зато повтор-

ное снижение скорости дает почти такую же кривую, что и первое снижение ее.

Рассортировка топлива в процессе кипения вызывает большое увеличение коэффициента порозности и соответственное уменьшение сопротивления слоя. Так, в опыте с двумя фракциями коэффициент порозности увеличился с 0,350 до 0,525, т. е. на 50%, а давление под решеткой уменьшилось в 1,51 раза. В опыте с четырьмя фракциями коэффициент порозности возрос с 0,342 до 0,468, т. е. на 41%, а давление под решеткой снизилось в 2,11 раза. Снижение давления под решеткой в 2,25 раза в опыте с тремя фрак-



Фиг. 7

циями не является характерным, так как в течение бурного кипения слоя за пределы установки было вынесено значительное количество мелких частиц угля.

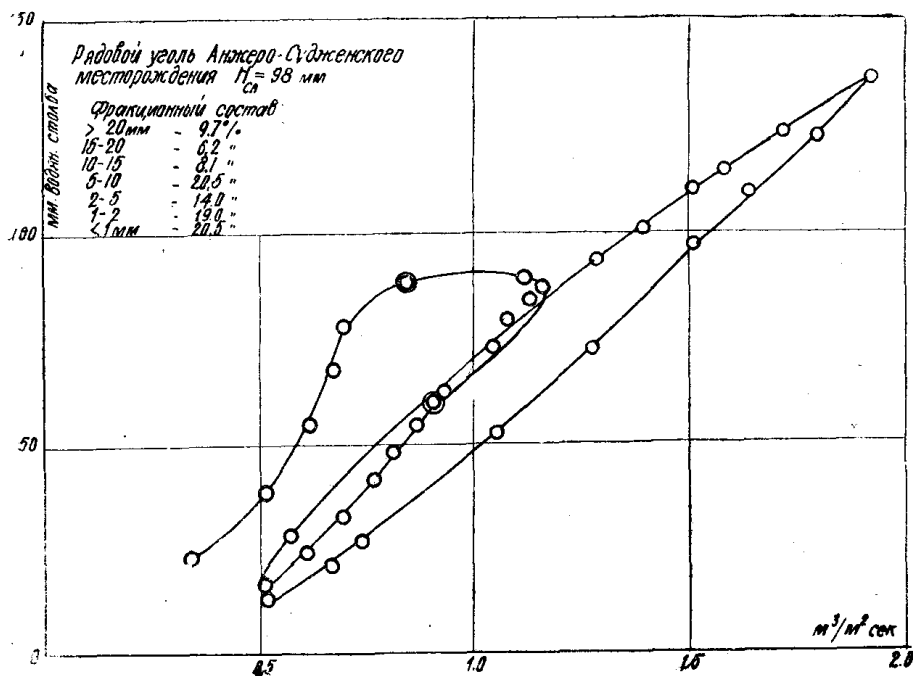
Параллельно с описанными опытами проводились также опыты по продуванию слоя топлива, составленного из тех же фракций, но при послойном расположении каждой фракции на решетке (более крупная фракция внизу, а над ней все более и более мелкие). Результаты этих опытов изображены на тех же фиг. 5—7 пунктирными кривыми.

Как видно из сравнения сплошных и пунктирных кривых, в течение первого подъема скорости фильтрации сопротивление для послойного расположения фракций меньше, чем для равномерной смеси, но больше, чем для рассортированного слоя. Повидимому, это свидетельствует о том, что при пневматической рассортировке имеет место наиболее совершенное разделение угля по крупности, поскольку это разделение происходит и внутри каждой из составных фракций.

После вскипания составного слоя поведение его почти не отличается от поведения слоя из равномерной смеси фракций.

В третьей группе опытов исследовалось поведение слоя рядового угля. На фиг. 8—10 приведены результаты опытов для рядового угля одного и того же фракционного состава при толщине слоя соответственно 98, 165 и 205 мм.

Характер протекания процессов в слое рядового угля, как это видно из кривых фиг. 8—10, по существу ничем не отличается от такового для смеси фракций, только здесь все явления выражены более ярко. Например, кипение слоя рядового угля начинается весьма бурно и почти мгновенно



Фиг. 8

распространяется по всему слою. Физическая картина этого явления, напоминающего взрыв, представляет примерно следующее. В момент, когда статическое давление под слоем примерно уравнивает вес последнего, силы трения между частицами угля нарушаются, и наиболее мелкие из них вырываются на поверхность слоя. Резко уменьшившееся в силу этого сопротивление слоя и быстрое нарастание расхода воздуха еще более увеличивает интенсивность кипения.

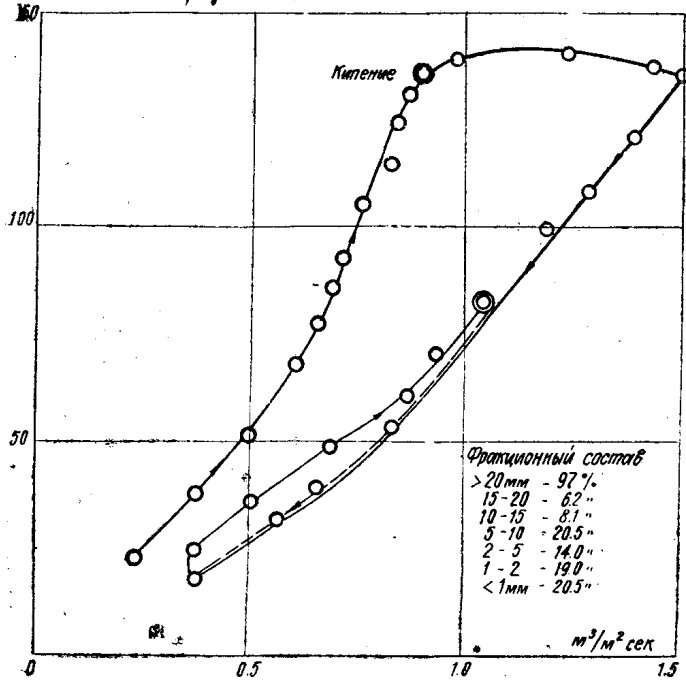
Так же, как для смеси фракций, было обнаружено, что еще до начала кипения в толще слоя рядового угля имеет место шевеление частиц угля и движение наиболее мелких из них снизу вверх. Эти частицы угля не имеют возможности пройти весь слой через мелкие межкусковые каналы и застревают в верхней части слоя, что вызывает постепенный рост статических давлений внутри слоя. В конце концов это может привести к вскипанию верхней части слоя и при пониженном давлении под решеткой по сравнению с необходимым для нормального кипения.

Подобное явление имело место в последнем из упомянутых опытов этой группы (фиг. 10), при проведении которого подъем давления под решеткой был искусственно остановлен по достижении 157 мм в. с.

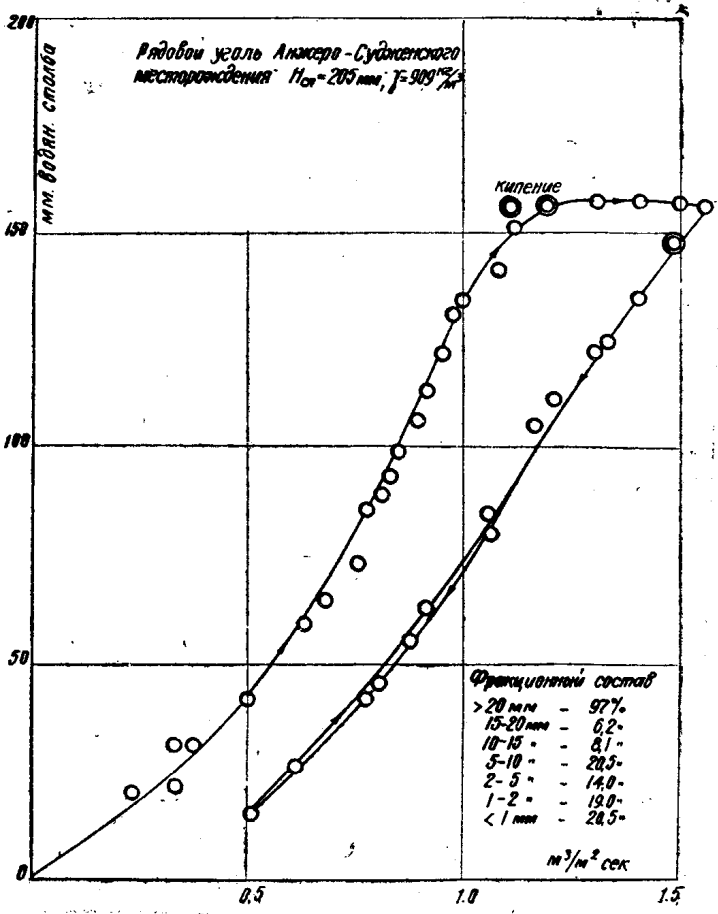
Спустя 4 минуты, началось слабое кипение в одном месте слоя, которое затем распространилось постепенно на всю поверхность его.

Однако в результате такого частичного и слабого кипения коэффициент порозности слоя увеличился всего только на 8%, тогда как при достаточно

Рядовой уголь Анжеро-Судженского месторождения
 $\text{H}_{\text{сл}} = 165 \text{ мм}; \gamma = 968 \text{ кг/м}^3$



Фиг. 9



Фиг. 10

интенсивном кипении в опыте с толщиной слоя 165 мм коэффициент порозности увеличился с 0,281 до 0,397, т. е. на 41%. Объяснить это явление можно только тем, что при слабом кипении рассортировка происходит только среди мелких фракций, а крупные рассортировываются лишь частично. Следовательно, увеличение интенсивности кипения слоя улучшает качество рассортировки его. Совершенно очевидно также то, что хорошая рассортировка слоя требует медленного снижения давления под решеткой после кипения.

Необходимо отметить, что во всех этих опытах при кипении слоя имел место сравнительно большой унос мелочи за пределы установки, что легко обнаруживается при повторном взвешивании засыпки.

Таким образом, опытным путем доказано, что с помощью пневматической рассортировки можно значительно улучшить аэродинамические характеристики слоя рядового угля.

Выводы

1. Как показали опыты, к категории сортированных углей следует относить только фракции с размером частиц более 5—7 мм, так как слой из частиц меньшего размера обладает большим аэродинамическим сопротивлением и уже при невысоких скоростях дутья теряет свою устойчивость, т. е. начинает кипеть.

2. Для крупных фракций аэродинамическое сопротивление слоя возрастает прямо пропорционально толщине последнего. Для слоя же, составленного из мелких частиц, начиная с некоторой скорости фильтрации, сопротивление возрастает быстрее, чем толщина слоя.

3. Опыт показал, что в процессе кипения слоя угля происходит рассортировка его по крупности. Внизу располагаются наиболее крупные куски, а на поверхности слоя—самые мелкие частицы угля.

4. Чтобы достичь высокого качества рассортировки, необходимо обеспечить достаточно интенсивное кипение слоя и медленное прекращение его.

5. В результате пневматической рассортировки значительно увеличивается порозность слоя рядового угля и в 2—3 раза уменьшается его аэродинамическое сопротивление.

Благодаря этому создаются предпосылки почти полного устранения трудностей, имеющих место при сжигании рядовых углей в слое (кратерный характер и малая интенсивность горения).