

## Обогащение прибалтийских горючих сланцев<sup>1</sup>

*Доц. А. К. Корольков*

### I. История вопроса

Прибалтийские горючие сланцы давно получили признание, как сырье для химической и газовой промышленности и как энергетическое топливо. В связи с этим, приобретают важное значение вопросы эксплуатации сланцевых месторождений и обогащение добытых сланцев. С помощью последнего они должны быть приведены в состояние, более удобное для использования в химической и газовой промышленности, а также при сжигании.

Перегонка горючих сланцев для получения из них смолы была начата свыше 80 лет тому назад, но задержана в развитии нефтями; она вторично была возрождена в период первой мировой войны.

Добыча сланцев для отопления началась в достаточно большом количестве в конце первой мировой войны. В последнее время практически разрешается вопрос об их газификации в крупном масштабе.

Обогащение сланцев, начатое одновременно с их добычей, с самого начала и до настоящего времени осуществляется на всех рудниках путем ручной отборки породы (известняков).

Применение механического (неручного) обогащения горючих сланцев неизвестно.

Горючий сланец, добываемый при подземных горных работах, складывается из ряда пластов (пачек) от А по F собственно сланца<sup>2</sup> и прослоев известняков (мергелистых, битуминозных, органогенных), перемежающихся с пачками сланцев.

При горных работах не производится селективной добычи пачек сланцев и раздельной их выдачи. Выпускаемые рудниками сорта рядового сланца складываются из сланцев ряда пачек разного качества. Лишь в последнее время Ленинградшахтопроектом (Гипрошахт) разрабатывались вари-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена по заданию Ленинградшахтопроекта (Гипрошахт).

<sup>2</sup> Буквенное обозначение пачек принято в соответствии с указываемым в литературе по прибалтийским сланцам.

анты открытых горных работ с отдельной (групповой) выдачей отдельных пачек сланцев.

Вопрос о механическом обогащении горючих сланцев возник по аналогии с углями и в связи с резко возрастающим масштабом их добычи. Уже в ноябре 1945 г. при рассмотрении типового проекта Гипрошахт для шахт комбината „Эстонсланец“, Коллегия Министерства угольной промышленности СССР указала, что для улучшения качества сланца и организации механического обогащения надлежит разработать метод механической отборки породы из сланца, допустив лишь в виде исключения (за отсутствием опытных данных) принятую по проекту ручную выборку породы.

Первой работой по механическому обогащению прибалтийских горючих сланцев явилась работа инженера Н. Н. Котляра, выполненная в 1923 г. под руководством проф. С. Е. Андреева. Обогащению был подвергнут выдаваемый на поверхность (после ручной породотборки в забое) сланец 1-го пласта Веймарнского месторождения. При обогащении этого сланца было впервые исследовано разделение компонентов, слагающих материал по удельному весу в тяжелых жидкостях и мокрой отсадкой в лабораторном пульсаторе.

При обработке материала крупностью ниже 6 мм была констатирована принципиальная возможность механического обогащения сланцевого материала гравитационным методом и получения обогащенного органическим веществом концентрата.

Однако содержание золы в концентрате оказалось выше 40%.

После значительного перерыва, за этой работой последовал ряд работ Механобра по исследованию обогатимости горючих сланцев. Еще до Великой Отечественной войны И. Н. Качаном были дополнительно исследованы веймарнские сланцы; И. В. Фаддеевым — алексеевские, гдовские; И. В. Фаддеевым, И. Н. Качаном, В. А. Олевским, Кутовским, Лымарем, М. К. Широкинским — гдовские сланцы.

Все отмеченные работы по обогащению позволили выяснить минералогический и петрографический и химический состав сырья, характеристики крупности горных масс и рядовых сланцев, их дробимость, грохотимость, показатели ручной разборки, обогащение по форме, удельному весу и флотации.

Из процессов механического обогащения наиболее изучен гидрогравитационный. По ряду обстоятельств менее изучены аэрогравитационный и флотация.

Полученные в результате всех исследований материалы позволяют оценить прибалтийские горючие сланцы как объект обогащения и выявить примерные показатели их обогащения.

Данная работа имеет целью суммировать накопленные за истекшие 20—25 лет материалы по обогатимости горючих сланцев Прибалтики и наметить ряд выводов, из них вытекающих.

## II. Характеристика сланцев как объектов обогащения

### а. Минералогический и петрографический состав сланцев

Минералогическое и петрографическое изучение сланцев производилось попутно с исследованием их обогатимости и преследовало цель оценки сланцев как объектов обогащения. Изучению подвергались рядовые сланцы и про-

дукты их обогащения. Аналогичное изучение сланцев имело место также в процессе геолого-разведочных работ на отдельных участках сланцевых месторождений.

В результате изучения горючие сланцы определяются как горючие ископаемые сапропелитовогумусового происхождения, отличающиеся высоким содержанием в них минеральной части (свыше 40%) и почти полной нерастворимостью их органической массы в органических растворителях при обычных условиях. Констатируется, что прибалтийские горючие сланцы отличаются от сланцев других месторождений Советского Союза более ценным составом органической массы.

Сланец, добытый при горных работах, разбирается макроскопически на собственно сланец, породу (известняк) и сростки сланца с породой. Сланец характеризуется как легкая и мягкая порода коричневого (бурого) цвета, имеющая удельный вес от 1,3 до 1,7 (в зависимости от содержания в ней минерального вещества). Кусковой сланец, даже наиболее чистый, представляется в виде сложного механического комплекса органической массы и минеральных веществ.

Минеральные вещества слагаются, в основном, известняками. Кроме того, в их состав входят: глинистый материал, кремнезем, железосодержащие минералы (пирит, гематит, лимонит), гранаты и др. Содержание в сланцах последнего минерала весьма низкое. Глинозем и кремнезем содержатся в отдельных случаях (по анализам золы) в значительных количествах. Последний представляется, главным образом, в виде аморфного, исключительно тесно связанного с компонентами сланца.

Тесно связанные со сланцем минеральные вещества могут быть отнесены к категории „внутренней“ золы. Содержание ее зависит, в известной степени, от крупности сланца. При определении по методу, предложенному проф. К. Ф. Белоглазовым, для отдельных пачек оно оказалось в пределах от 1,3 до 7,5%. При измельчении сланца перед анализом до минус 100 меш, пачки в порядке возрастания содержаний внутренней золы располагаются в виде ряда В, F, E, A, C, A<sup>1</sup>, D; то же, но при измельчении до минус 200 меш, они образуют ряд В, F, E, C, A, A<sup>1</sup> D.

Л. Ф. Фокин, извлекая SiO<sub>2</sub> из сланца длительным воздействием на него HF, понижал содержание в нем внутренней золы до 0,4%. Получившаяся при этом органическая масса вида светложелтого порошка имела удельный вес от 1,07 до 1,14 и бурела при нахождении в воздухе.

Порода, которая макроскопически выглядит часто чистым известняком, подобно сланцу, имеет сложный состав и содержит тесно связанное с ней органическое вещество, в количествах от 4 до 12%, в среднем выше 5%. Это органическое вещество в кусковой породе (+25 мм) при содержании 5%, а иногда и до 9%, не обнаруживается макроскопически, даже при весьма тщательном просмотре.

Значительное содержание органической массы в породе определяет относительно высокую ее калорийность. Выделенная из породы (известняков) органическая масса имела в ряде случаев более светлый цвет, чем органическая масса сланцев.

Микроскопически (при увеличении в 100 раз) сланец состоит, по некоторым данным, из известковой сетки (каркаса), внутри ячеек которой размещаются сине-зеленые или темные водоросли, образующие органическую массу. Этим объясняется практическое постоянство объема кусков сланца

до сжигания и после сжигания. Органическая масса в виде комочков частиц также представляется тонкой и достаточно равномерно рассеянной во всей массе материала. Тесная взаимная связь составных частей сланцев ставит предел возможности разделения их при механическом обогащении.

Даже в классах крупности минус 325 меш еще обнаруживаются в значительном количестве сродки органической массы с сопутствующими ей другими компонентами сланца. В силу отмеченного характера содержащейся в сланцах органической массы, получение совершенно чистых концентратов (водорослей) и породы (известняков) представляет, по данным минералого-петрографических анализов сланцев, практически неразрешимую задачу.

Между тем отделение чистых по внешнему виду сланцев от аналогичных известняков и известковых конкреций возможно осуществить сравнительно простыми путями.

## б. Химический состав сланцев

Химическому анализу были подвергнуты рядовые сланцы и продукты их обработки.

Произведено несколько элементарных анализов и определены содержания C, H, O, N, S, Cl, CO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O. Выполнено много технических анализов, при которых определялись содержания минеральной золы, CO<sub>2</sub> летучих, влаги. Также анализировался остаток после прокаливания на содержание в нем SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, CaO, MgO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O.

Было произведено много определений теплотворной способности сланцевых материалов и анализов по Фишеру. В результате изучения имеющихся материалов, опыта работы по сланцам Ленинградского Горного института, заводских лабораторий в Кохтла-Ярве, и других можно заключить, что для оценки результатов обогащения существенно важное значение имеют содержания в сланцевых материалах золы и CO<sub>2</sub>, позволяющие с достаточной практической точностью определять в них содержания органической массы [100 — содержание золы (%/о) — содержание CO<sub>2</sub> (%/о)].

Теплотворная способность указанных материалов достаточно точно определяется после этого по содержанию органической массы, теплотворная способность которой может быть принята 8900 кал/кг.

К сожалению, отмеченный способ оценки сланцевых материалов был принят при исследованиях их обогатимости только с конца 1945 г. (с начала работ по сланцам Ленинградского Горного института).

Практиковавшиеся до этого способы оценки отличались разнообразием и малой надежностью. Применявшаяся длительное время оценка по содержанию летучих не надежна, так как содержание летучих в карбонатных материалах заметно повышается, благодаря CO<sub>2</sub>, выделяющейся из карбонатов при выделении летучих из органической массы. Выделение CO<sub>2</sub> в летучие сильно меняется в зависимости от температуры, содержания карбонатов в анализируемом материале и других условий. Отмеченное положение в деле оценки качества материалов существенно сузило объем данных по исследованию обогатимости, которые могли быть включены в данный обзор. В дальнейшем, при оценке различных сланцевых материалов, мь

пользуемся лишь содержаниями в них органического вещества, которое определялось указанным выше способом.

Сланцы, добываемые при горных работах, имеют содержание органического вещества от 20 до 30%. После отборки из них породы в забое, они содержат от 25 до 40% органического вещества. Их рабочая влажность меняется в значительных пределах в зависимости от ряда условий и составляет 7—18% (из затопленных водой забоев выше). Влажность добываемых сланцев на 4—5% бывает больше, чем породы.

При влажности 9—11% кусковой сланцевый материал близок к водному насыщению. По отдельным наблюдениям куски сланца, имеющие повышенную влажность, теряют свойство легко рассыпаться (присущее им в сухом состоянии).

Содержащаяся влага относится главным образом к внешней (поверхностной и промежуточной). При продолжительном лежании на воздухе в сухую погоду сланцевые материалы снижают свою влажность до 4—5%, а при операциях сухого дробления, грохочения и разборки—на 1,5—2%.

### в. Гранулометрические составы горных масс и рядовых сланцев

Гранулометрические характеристики добываемых и выдаваемых на поверхность сланцев зависят от ряда условий — физических свойств материала, условий его добычи и др. Характерное для сланцевых материалов так называемое сланцевое сложение способствует повышенному выходу крупных классов при грохочении материалов на поверхностях с круглыми или квадратными отверстиями. Результаты грохочения сланцев, добываемых при подземных горных работах на ряде месторождений, приводят к выводу, что их состав по крупности, несмотря на некоторое различие в горно-технических условиях добычи, получается довольно постоянный.

При грохочении на ситах с круглыми или квадратными отверстиями; выходы основных классов крупности составляют: +100 мм — 50%, —100 + 25 мм — 30%, — 25 + 0 мм — 20%. Отклонения выходов от указанных значений составляют при этом не более 3—4%. Гранулометрический состав сланцев, выдаваемых на поверхность, зависит от полноты отбора из них породы в забоях.

При достаточно полной отборке в забое породы крупностью + 25 мм содержания тех же (что и выше) классов крупности в среднем составляют: +100 мм — 30%, — 100 + 25 — 40% и — 25 + 0 мм — 30%. Отклонения выходов и в этом случае не превышают обычно 3—4%. (Любопытно, что примерно такой же состав по крупности имели сланцы Тквибульского месторождения в 1933 г.).

Снижение содержания классов +100 мм в выдаваемых на поверхность сланцах объясняется преимущественным отбором в забоях крупной породы.

Содержание органического вещества в классах крупности различно. В добываемых сланцах оно обычно возрастает от крупных классов к мелким, а в выдаваемых на поверхность наиболее богатым является класс +100 и наиболее бедным — 100 + 25. Так в добываемых сланцах содержится органического вещества:

Класс . . . . .	+ 100 мм	— 100 + 25 мм	— 25 + 0 мм
Пример I . . . . .	22,4	28,8	35,2
Пример II . . . . .	21,0	21,0	27,5

В сланцах, выдаваемых на поверхность, содержание органического вещества составляет:

Класс . . . . .	+ 100 мм	— 100 + 25 мм	— 25 + 0 мм
Пример I . . . . .	42,9	33,2	35,9
Пример II . . . . .	32,8	24,6	26,6
Пример III . . . . .	26,3	22,4	30,9

Следовательно, породотборка, производимая в забоях, не оказывает влияния на качество классов — 25 + 0 мм и в небольшой степени влияние на качество класса средней крупности — 100 + 25 мм. Содержание ж органического вещества в крупном классе + 100 мм после породотборки существенно повышается.

### III. Требования потребителей сланцев и задачи обогащения

Использование горючих сланцев планируется как комплексное, при котором должны иметь раздельное применение как органическая их часть так и минеральная. Первая должна определять использование сланцев в виде твердого, жидкого или газообразного топлива для бытовых нужд, различных отраслей промышленности, железнодорожного и водного транспорта и городских хозяйств Ленинграда и Эстонской ССР. Минеральную часть возможно использовать для нужд промышленности строительных материалов (цементного и кирпичного производств). Опыт использования сланцев в указанных направлениях уже имеется. Однако до настоящего времени со стороны потребителей не выдвинуты вполне обоснованные кондиции. Очевидно, минеральная часть при раздельном ее использовании должна иметь минимальное содержание органической массы. Сланец как твердое топливо для обычных топок и печей должен быть в виде сравнительно крупных кусков. Основные трудности, возникающие при таком его использовании, — большая зольность, необходимость удаления значительных количеств золы, неполнота сгорания органической массы. Сжигание мелочи возможно в специальных топках.

Скорость сгорания или реакционная способность сланцев зависит, очевидно, от их поверхности, участвующей в процессе горения, и от газопродуктивности единицы поверхности. На реакционную способность должна заметное влияние оказывать влага, если ее содержание превышает определенный предел. При этом существенной оказывается крупность кусков материала и температура топки.

При газовойделении имеет значение выход летучих и степень деформации кусков материала; оно зависит от крупности кусков, температуры сжигания, поверхности сланца и газопродуктивности единицы поверхности. Количественное влияние всех отмеченных факторов пока не установлено и не находит себе отражения в кондициях на сланец.

Исходя из горнотехнических условий добычи сланцев, на шахтах комбината „Эстонсланец“ с 1 января 1947 г. был введен в действие стандарт (ГОСТ 3293-46). Браковочными признаками для продукции каждой шахты установлены теплотворная способность, влага в рабочем топливе, содержание породы + 25 мм. Согласно стандарту должен выпускаться: сланец 1-го сорта + 125 мм, при браковочном содержании влаги — 11%, теплотворной способности 3500 — 3800 и содержании породы + 25 мм 3%, сланец 2-го сорта — 125 + 25 при влаге до 11%, теплотворной способности не ниже 3000 и содержании породы + 25 мм не выше 7% и сланец 3-го сорта — 25 + 0 мм, с влажностью не выше 13%, теплотворной способностью не ниже 3050 кал/кг.

Для одной из шахт продукция была принята в виде трех сортов: 1-й сорт  $+38$  мм с влажностью 11—15% и теплотворной способностью 3200—3700, 2-й сорт  $38+10$  мм с той же влажностью и теплотворной способностью 2600—3300 и 3-й сорт  $-10+0$  мм с влажностью 12—20% и теплотворной способностью 2300—2700 кал/кг.<sup>1</sup>

Жидкое и газообразное топливо получается обычно из сланцевых материалов средней крупности (2-го сорта), но диапазон крупности этого материала в разных случаях разный ( $-125+25$  мм,  $-100+38$  мм,  $-100+10$ ).

Вопрос о допустимом диапазоне крупности остается до настоящего времени открытым. Нижний предел крупности материала, направляемого в перегонку, в данное время около 10 мм. Однако возможно, что и более мелкие материалы при разгрохочивании их по узкой шкале могут удовлетворительно подвергаться перегонке. Этот вопрос еще не освещен и требует, повидимому, специальных исследований. Верхний предел крупности материала для перегонки в данное время составляет 125 мм, однако неясно, в какой мере он обоснован. По отдельным сведениям, для перегонки желательны узкие классы крупности материала, которые могут обеспечить необходимую пористость материала и нормальный ход процесса, а для сжигания в специальных топках может направляться материал  $-10+0$  мм, который желательно разгрохочивать на 2 класса  $-10+3$  и  $-3+0$  мм.

Недостаточно ясен вопрос о химическом составе сырья для перегонки и газификации.

По экономическим соображениям (производительности печей) содержание органической массы в сырье должно быть возможно выше, хотя пониженное ее содержание как будто не влияет на ход процесса. Подмечено, что удельный вес и содержание фенолов сырого масла зависят не только от температуры, при которой ведется перегонка, но и от количества карбоната кальция в материале. Можно полагать, что соотношение компонентов в материале влияет на результаты перегонки, но количественные зависимости в этом направлении нам неизвестны.

Таким образом, кондиции на сланцевые материалы строго не установлены. Ввиду этого весь объем работ по обогащению сланцев выявить в данное время невозможно, так как потребители не в состоянии в данный момент предъявить обоснованные кондиции.

Кондиции должны подвергнуться специальному анализу. Впредь до этого при ориентировке на временно действующий стандарт (ГОСТ 3293-46) задачи обогащения сводятся к следующему:

1. Разгрохочивание рядовых сланцев на 3 класса крупности — примерно  $+100$ ;  $-100+25$ ;  $-25+0$  мм.

2. Обеззоливание этих классов, без больших потерь органической массы в хвостах обогащения.

3. Дробление (в случае надобности) крупных классов до  $-100$  мм. Необходимо отметить, что потребление мелких классов сланца до сих пор ограничено; спрос на них потребителей ниже предложения шахт.

#### IV. Дробимость сланцевых материалов

Относительная новизна и отсутствие промышленного опыта обогащения сланцев являются причинами недостаточности данных по их дроблению. Опытное дробление сланцев в небольшом масштабе производилось

<sup>1</sup> В настоящее время кондиции пересматриваются.

в щековых дробилках, зубчатых (одновалковых, двухвалковых), гладких валках, дезинтеграторах, молотковых дробилках.

В промышленных условиях крупное дробление широко осуществляется на ряде заводов в зубчатых валках. Примеров дробления сланцевых материалов в жираторных дробилках и шаровых мельницах нет.

Опыты дробления сланцевых материалов показали, что основные трудности при дроблении их возникают из-за неоднородности минералогического состава и сравнительно высокой влажности.

Куски сланца часто дробятся по плоскостям напластования. Форма их получается пластинчатой и определяет относительно большой выход крупных классов при грохочении на ситах с круглыми или квадратными отверстиями. Относительно легкая дробимость чистого сланца, сравнительно с известняками, вызывает обогащение им мелких классов дробленых продуктов. Для дробления известняков и известковистых конкреций требуются большие усилия, чем для дробления сланца, ввиду большей их твердости, а при дроблении они меньше переизмельчаются.

С дроблением сравнительно чистого сланца вполне справляются зубчатые валки, но при дроблении в них известняков и известковистых конкреций наблюдаются сильные толчки, срезы болтов и поломка. В этом случае более подходящими оказываются более мощные щековые дробилки.

Влажность сланцев оказывает влияние на производительность дробильных машин. Повышенная влажность сводит производительность в отдельных случаях к нулю. Ввиду повышенной влажности сланцевой мелочи важно удалять ее перед дроблением; также важно свести к минимуму образование новой мелочи в процессе дробления.

По опыту зубчатые дробилки удовлетворительно справляются с сухим дроблением влажных материалов.

Щековые дробилки оказываются в этом отношении менее надежными, однако сухое дробление в них материалов с влажностью до 6% протекает нормально. Различие характеристик крупности дробленых продуктов определяется главным образом различием исходных материалов, а не конструкцией дробильных машин. При дроблении сравнительно чистого крупного сланца до  $-100$  мм в зубчатой дробилке получались примерно следующие выходы классов крупности:

Класс мм . . .	+75	-75 + 50	-50 + 25	-25 + 10	-10 + 0
Выход % . . .	22	41	22	6	9

При дроблении материала, содержащего значительное количество породы, примерные выходы тех же классов после дробления в щековой дробилке получились:

15	41	28	8	8
----	----	----	---	---

По имеющимся данным, выход класса  $-25 + 0$  мм в первом случае может достигать 25%, а во втором — 20%.

При решении вопросов обработки сланцев, их мелкое дробление в данное время имеет пока малое значение. Однако можно отметить, что при допустимости (или желательности) переизмельчения мелкое дробление сланцев может удовлетворительно осуществляться в молотковых дробилках, обеспечивающих высокую степень измельчения и возможность сухого дробления (без добавки воды) материала с влажностью до 20 — 22%.



## V. Грохотимость сланцевых материалов

Некоторые трудности, возникающие при грохочении, определяются повышенной влажностью сланцевых материалов, наличием в них глинистых примесей и пластинчатой формой кусков. Наибольшее затруднение создает высокая влажность материала, при которой для сохранения постоянства эффективности грохочения необходимо снижение нагрузки (производительности) грохотов. Сохранение постоянства последней приводит к резкому понижению эффективности грохочения (иногда до нуля).

По данным М. К. Широкинского, при грохочении на жирационном грохоте гдовских сланцев с влажностью около 9% на грохотах с отверстиями 4 мм, удельная нагрузка по отгрохачиваемому материалу составляла 21 — 24 т/м<sup>2</sup> час при эффективности грохочения 98 — 82%.

Повышение удельной нагрузки на 1 т/м<sup>2</sup> час вызвало понижение эффективности грохочения примерно на 5%. Снижение удельной нагрузки на каждый 1% повышения влажности при эффективности грохочения 82% предоставлялось следующим:

Повышение влаги с	10 до 11	11 до 12	12 до 13	13 до 14	14 до 15
Снижение нагрузки т/м <sup>2</sup> час	1,3	1,4	1,6	2,1	2,6

Согласно опытам возможность работы жирационных грохотов при влажности материала 16% и несколько выше не исключается, но может быть обеспечена при низких значениях эффективности грохочения.

Из материалов грохочения гдовских сланцев в промышленных условиях вытекает, что рядовые сланцы, поступающие на сортировку с влажностью 9 — 10% (при влажности класса — 3+0 мм 15 — 16%), удовлетворительно разгрохачиваются на грохотах с отверстиями 3 мм.

Следовательно, из рядовых сланцев можно выделять мелочь (порядка — 5 мм) на вибрационных грохотах, если влажность сланцев будет около 10%, а мелочи до 15%.

При влажности рядовых сланцев выше 10%, выделение из них мелочи с эффективностью выше 75% сомнительно. При влажности рядовых сланцев 14 — 15% удовлетворительное огрохачивание из них мелочи — 10 мм сомнений не вызывает.

## VI. Ручная разборка сланцев—подземная и поверхностная

Ручная разборка является единственным процессом обогащения, применяемым в данное время в сланцеводобывающей промышленности. Подземная разборка представляется необходимой в связи с направлением отбираемой породы для закладки выработанного пространства.

Разборка сланцев по сортам, отвечающим отдельным пачкам, не осуществляется, и возможность ее исключается.

По ряду данных содержание породы в классах +100 мм забойного сланца составляет около 60%. После породотборки содержание ее снижается до 2 — 4%, а в среднем до 3%, т. е. до предела, определяемого ГОСТ 3293-46 для 1-го сорта. По Глову оно снижалось до 12%, ввиду преднамеренной неполной выборки породы. Максимальное извлечение породы из классов +100 мм составляло около 98%, из класса —100 + 75 мм около 65%, из класса —75 + 40 мм около 45%, а из класса —40 + 25 мм около 20%.

Таким образом, при подземной породотборке, относительное извлечение породы из классов крупности забойной массы различно и резко снижается от крупных классов к мелким. В зависимости от полноты ее уда-

ления изменяется ее содержание в сланцах, выдаваемых на поверхность и, очевидно, должна изменяться производительность рабочих в забое. Вопрос о влиянии полноты отборки в забоях породы на производительность рабочего до сих пор не получил полной ясности. Имеющиеся данные технического отдела Министерства сланцево-химической промышленности Эстонии, приводимые в отчетах Механобра и устанавливающие зависимость указанной производительности от содержания породы в сланцах, выдаваемых на поверхность, оспариваются рядом специалистов-горняков. При всем этом трудно установить, каким образом они получены и какова степень их достоверности. Для получения содержания породы крупностью +25 мм в сланцах, выдаваемых на поверхность около 6% в забоях потребуется удалять нацело породу из классов +75 мм и примерно на 70% из классов -75 +40 мм, т. е. порододоборка должна быть распространена грубо до кусков размером 50 мм.

Для получения содержания ее 17 — 18%, потребовалось бы удалить нацело породу лишь из классов +100 мм горной массы. Как отмечено с изменением крупности отбираемой в забоях породы, очевидно должна изменяться производительность рабочих.

По Г. П. Бакинову в первом случае (при оставлении 6% породы сланцах) производительность одного рабочего в смену по рядовому сланцу должна составить около 5 тонн, а во втором (при оставлении 17% породы) около 10 тонн в смену. То есть производительность во втором случае удваивается.

Однако все отмеченные в этом отношении данные требуют уточнения и опытного подтверждения. По ряду соображений представляется наиболее рациональный вариант отборки в забоях породы крупностью лишь +100 мм.

Абсолютный выход такой породы из добываемых сланцев должен составить 25 — 30% (по Гдову), а содержание в ней органического вещества 6 — 7%. Теплотворную способность отбираемой породы можно ожидать при этом 500 — 600 кал/кг.

Поверхностная разборка исследована полнее подземной. Характеристика породы крупностью +25 мм, заключающейся в сланцах, выдаваемых на поверхность, является следующей:

	Относит. выход породы	Содержание зола %	Содержание органическ. вещества
Пример I . . . . .	23,6	59,1	6,6
Пример II . . . . .	12,3	56,6	13,7
Пример III . . . . .	28,3	56,9	12,9
Пример IV . . . . .	28,9	56,5	—

Раздельно по классам крупности +100 мм — 100 +25 мм результаты тщательной опытной разборки рядовых сланцев представляются в таблице (стр. 101).

Легко видеть, что во всех приведенных случаях выходы суммарных концентратов разборки равны примерно 1,5-кратному содержанию органического вещества в исходных сланцах, а содержание органического вещества в суммарных концентратах следует примерно уравнению

$$\beta = A\alpha + B,$$

1	2	+100 мм		-100 + 25 мм		Рядов. сланец	
		Относит. выход.	Содерж. орган. вещ-ва.	Относит. выход.	Содерж. орган. вещ-ва.	Выход	Содерж. орган. вещ-ва.
3	4	5	6	7	8		
Пример I	{ Концентрат . . .	33,1	46,6	24,5	43,5	100,0	38,7
	{ Хвосты . . . . .	0,7	16,6	11,6	13,6		
Пример II	{ Концентрат . . .	16,0	35,0	16,0	35,0	100,0	20,6
	{ Хвосты . . . . .	9,8	11,8	19,1	—		
Пример III	{ Концентрат . . .	17,9	41,3	23,4	37,1	100,0	27,3
	{ Хвосты . . . . .	6,4	9,0	17,2	5,7		

где  $\beta$  — содержание органического вещества в суммарном концентрате разборки,

$\alpha$  — то же, в исходном сланце,

A и B — постоянные, определяемые из приведенных данных ( $A \cong \cong 0,6$   $B \cong 24$ ).

По примеру Гдова (1940 г.) абсолютный выход обогащенного сланца +100 мм составляет 19—22%, а содержание в нем органического вещества 41—46%. Относительный выход обогащенного сланца при разборке класса -100 + 25 мм изменяется в довольно широких пределах, в зависимости от полноты отборки породы -100 мм в забоях. Он ниже (40—46%) при менее тщательной отборке в забоях и выше (58—68%) в обратном случае. Содержание органического вещества в обогащенном сланце изменяется в относительно широких пределах (35—43,5%). Абсолютный выход мелочи -25 + 10 мм получается довольно стабильным и составляет около 20%; содержание в ней органического вещества, в среднем, около 30%.

Количество породы в классе +100 мм сланца, выдаваемого на поверхность, зависит от тщательности отборки породы в забоях. При тщательной отборке ее относительный выход не превышает 2%.

По опытам качество обогащенного сланца +100 мм, получаемого при поверхностной разборке класса +100 мм, существенно не улучшается после дробления его до -100 или 75 мм и повторного обогащения. Относительный выход породы при повторном обогащении (ручной разборке, в тяжелых жидкостях) не превышает обычно 5—8%. При разделении в тяжелых жидкостях, фракция с удельным весом менее 1,4 хотя и получается с повышенным содержанием органического вещества (до 54% по Гдову), но относительный ее выход (из обогащенного сланца +100 мм) составляет не выше 30%.

Очевидно, что повторное обогащение указанного сланца происходит недостаточно удовлетворительно.

## VII. Обогащение сланцев по форме

Основанием к постановке опытов обогащения сланцев по форме послужила неоднократно отмечавшаяся различная форма кусков сланца и породы и стремление к механизации отделения породы от сланцев. Воз-

возможность применения этого метода обогащения и его результаты выяснились на ряде сланцев. Обработке подвергались классы крупности —100 +75, —75 +50, —50 +25 мм.

Этот метод обогащения оказался принципиально возможным, но качественные результаты его получились низкими и не конкурентно-способными с ручной разборкой.

### VIII. Гравитационное обогащение сланцев

Оно было выдвинуто взамен ручной разборки. Путем анализов было установлено, что удельный вес органического вещества составляет около 1,1, относительно чистого кускового сланца от 1,4 до 1,8, его сростков с известняками от 1,8 до 2,4, а сравнительно чистого известняка от 2,4 до 2,8 (в зависимости от насыщенности органическим веществом).

Отмеченное различие удельных весов указывало на принципиальную возможность гравитационного обогащения. Уже первые опыты разделения рядовых сланцев Веймарна в тяжелых жидкостях указали на достаточно четкое отделение сланцев от известняков.

В последующем сланцы разных месторождений и разной крупности подвергались разделению в тяжелых жидкостях и обогащались различными гидро- и аэрогравитационными процессами. Опыты подтвердили возможность гравитационного обогащения сланцев и указали, что из двух способов гравитационного обогащения более успешным по техническим показателям оказывается гидрогравитационный. Это положение вытекало также и из материалов изучения состава исходного сырья. Менее благоприятными моментами для аэрогравитационных процессов являлись высокий удельный вес относительно чистого кускового сланца (до 1,8), сравнительно малая разница в удельных весах сланцев и известняков, значительное содержание в исходном сырье известняков и высокая влажность исходного материала.

#### а) Разделение сланцев в тяжелых жидкостях

Во всех случаях исследования разделение сланцев производилось в водных растворах хлористого цинка удельного веса от 1,3 до 2,0, а в большинстве случаев от 1,4 до 1,8. Уже в первых опытах разделения классов 6—3 и 3—1 было выявлено, что выход фракций с удельным весом менее 1,45 получается не выше 10%. Последующие опыты разделения классов различной крупности разных месторождений показали, что выходы фракций плотностью менее 1,8 зависят отчасти от крупности классов. Так при переходе от крупности —50 +25 мм к крупности —10 +3 мм суммарные выходы фракции более 1,8 повышались примерно с 36 до 45%. При этом качество этих фракций оказывалось более или менее постоянным.

Легкие фракции: <1,5; 1,5 — 1,65 и др. не обнаруживали заметных различий при микроскопическом их просмотре. Общим для всех них являлась пронизанность сланца включениями известняка. Фракции с плотностью более 1,8 получались в виде более или менее округленных кусков известняков с примазками и включениями сланца.

Много опытов разделения в тяжелых жидкостях было поставлено при исследованиях гдовских сланцев.

При разделении их узких классов крупности в диапазоне от 75 до 0,5 мм выяснилось, что относительные выходы фракций менее 1,4 по классам крупности не превышают 7—10%. Выходы фракций с плотностью

1,8—2,0 получились незначительные, что дало основание заключить, что собственно сланцевые фракции имеют удельные веса менее 1,8, а известняковые более 2,0; последние были получены в количествах 34—40%, с содержанием в них органического вещества около 6%. В целом выявилась возможность получения концентратов с содержанием органического вещества около 41% и хвостов, с содержанием органического вещества 6—7%.

При разделении узких классов в общем диапазоне от 100 до 0 мм было констатировано, что фракции менее 1,65 при разделении всех классов могут рассматриваться как концентраты, примерный выход которых составляет около 32%, а содержание органического вещества около 47%. Фракции 1,65—1,90 имеют выход около 10% и содержат около 26% органического вещества. Содержание органического вещества во фракциях более 1,9 не превышает 7,5%.

При разделении узких классов сланцев другого месторождения в общем диапазоне от 50 до 0,5 мм установлено, что фракции менее 1,7 при выходе около 40% являются существенно обогащенными органическим веществом и могут рассматриваться как концентрат. Фракции же более 1,8 при выходе около 46% имели содержание органического вещества около 10%. Суммарный выход фракций менее 1,4 составил в этом случае около 7,5%, а содержание в них органического вещества оказалось около 54%.

В целом, материалы по разделению сланцев в тяжелых жидкостях показывают, что наиболее обогащенными органическими веществами являются фракции менее 1,4, но выходы этих фракций малы (не более 10%).

К сланцевым концентратам могут быть отнесены фракции с удельным весом до 1,7 или до 1,8, выход которых составляет около 40%, а содержание органического вещества около 42—44%. Выходы фракции 1,7—1,8, а также 1,8—2,0 оказываются малыми и не превышают первых —2% и вторых —5—8%. Первые богаче органическим веществом, чем исходные материалы, а вторые беднее.

Первые могут быть отнесены к концентратам, вторые к хвостам, то есть разделение сланцев должно производиться по удельному весу 1,7 или 1,8.

Отсюда следует, что по характеру разделения, по удельному весу, прибалтийские горючие сланцы близки к донецким антрацитам.

### б) Мокрая отсадка сланцев

На основании результатов многочисленных опытов обработки крупных классов сланцев можно констатировать, что при мокрой их отсадке обеспечивается получение удовлетворительных качественных результатов, близких к результатам тщательной ручной их разборки.

Указанные результаты также близки к результатам разделения тех же классов в тяжелых жидкостях. При отсадке происходит некоторое ошламование исходного материала, но оно не велико (относительный выход шламов при обработке крупных классов сланцев не превышал 1,5—2%).

Как указывают опыты, расширение шкалы грохочения материала перед отсадкой до 4 и несколько выше не вызывает существенного снижения ее результатов, однако результаты снижаются при увеличенном содержании в исходных материалах мелочи. Для последующих выводов имеют существенное значение результаты мокрой отсадки классов крупности —100 + 25 и —25 + 0 мм.

По опыту обработки сланцев разных месторождений результаты отсадки класса —100 + 25 мм получаются примерно следующие:

	Относит. выход, %	Содержан. орган. вещества
Концентрат . . . . .	40	41
Хвосты . . . . .	60	7,0
Исх. материал . . . . .	100	20

В отдельных случаях путем мокрой отсадки можно получить концентраты с содержанием органического вещества до 47% и хвосты с содержанием органического вещества от 4 до 12% (в большинстве опытов ниже 10%). Путем разделения в тяжелых жидкостях концентратов отсадки установлено, что содержание в них породы с плотностью более 2 в большинстве случаев не превышает 5—7%. Относительный выход концентратов отсадки, как видно, доходит до двукратного содержания, органического вещества в исходном материале.

Класс —25+0 мм подвергался отсадке обычно в виде нескольких более узких классов. Наибольший интерес представляют результаты отсадки классов —25+5, —5+0 мм. Когда при отсадке этих классов выделяются два продукта, результаты их обработки получаются примерно следующие:

	Относит. выход, %	Содержан. орган. вещества
Для класса —25+5 мм		
Концентрат . . . . .	50	37,5
Хвосты . . . . .	50	8,0
Исх. материал . . . . .	100	23,0
Для класса —5+0 мм		
Концентрат . . . . .	60	34,5
Хвосты . . . . .	40	12,0
Исх. материал . . . . .	100	25,0

Как видно, в обоих случаях мокрая отсадка дает удовлетворительные результаты. Выходы концентратов достигают двукратных содержаний органического вещества в исходных материалах, а степень концентрации (отношение содержаний органического вещества в концентратах и исходных материалах) доходит до 2. При отмеченных условиях извлечение органического вещества может доходить до четырехкратного значения содержания органического вещества в исходном материале.

Существенным недостатком мокрой отсадки является увлажнение праней сланцев. Как и в случае обогащения углей, освобождаясь от породы обогащенные продукты приобретают влагу. Степень увлажнения зависит от удельной поверхности материала и тем больше, чем выше последняя. По ряду опытов, влажность крупных концентратов (из класса —100+25 мм) представляется незначительной (около 9%) и превышает влажность исхо-

ного материала не более, чем на 2%. В промышленных условиях приращение влаги в концентрате может оказаться выше, но оно вряд ли превысит 3%.

При отсадке мелких классов —25+5 и 5+0 мм влажность концентратов сильно повышается сравнительно с влажностью исходных материалов. Так, при влажности класса —25+5 мм 10,5% влажность концентрата, получаемого из него, составляет около 15%; для класса —5+0 соответственные цифры составляют 14 и 25%. Следовательно, при отсадке мелких классов влажность концентратов на 4,5—11% превышает влажность исходных материалов.

Если на сланцы распространить те же эквиваленты топлива, которые принимались для углей (1% золы отвечает 1,4% топлива и 1% влаги 0,7% топлива), то во всех рассмотренных случаях мокрой отсадки измененные эквиваленты топлива при мокрой отсадке является положительным, т. е. имеется его приращение, но для класса —5+0 мм оно примерно в 5 раз меньше, чем для класса —100+25 мм.

Рациональность применения мокрой отсадки для мелких классов вызывает сомнения.

### в) Мокрая концентрация на столах

Мокрая концентрация на столах применялась в ранней стадии исследования обогатимости сланцев. Обработке на столах подвергались сланцы Веймарна, Гдова. По аналогии с углями, обогащались классы крупностью до 10 мм, предварительно разгрохоченные и неразгрохоченные. Более широкие испытания по концентрации на столах были проведены на сланцах Гдовского месторождения. Ниже приводятся результаты обработки классов —10+0, —10+5, —5+0 мм.

#### Результаты обработки класса —10+0 мм

Продукты	Смесь 4 пластов			Баловая проба		
	Выход %	Содерж. орган. вещ-ва	Извлеч. орган. вещ-ва	Выход %	Содерж. орган. вещ-ва	Извлеч. орган. вещ-ва
Концентрат . . .	53,1	36,3	73,0	59,0	34,0	78,0
Хвосты . . . . .	32,5	9,7	11,6	34,1	10,6	14,0
Шлам . . . . .	14,4	28,4	15,4	6,9	29,5	8,0
Исход —10+0 мм . . . . .	100,0	26,5	100,0	100,0	25,6	100,0

#### Результаты обработки класса —10+5 мм

Продукты	Смесь 4 пластов		
	Выход %	Содержание органического вещества	Извлечение органического вещества
Концентрат . . . . .	56,9	33,3	79,0
Хвосты . . . . .	38,3	12,2	17,3
Шлам . . . . .	4,3	24,2	3,7
Исх. —10+5 . . . . .	100,0	27,5	100,0

Результаты обработки класса  $-5 + 0$  мм

Продукты	Смесь 4 пластов			Валовая проба		
	Выход %	Содержан. орг. вещ-ва	Извлечен. орг. вещ-ва	Выход %	Содержан. орг. вещ-ва	Извлечен. орг. вещ-ва
Концентрат . .	40,3	39,2	66,5	44,3	34,7	61,0
Хвосты . . . .	37,4	9,2	14,4	37,6	10,3	15,0
Шлам . . . . .	22,3	20,3	19,1	13,1	34,4	24,0
Исх. материал $-5 + 0$ мм .	100,0	23,8	100,0	100,0	25,5	100,0

Приведенными результатами устанавливается факт удовлетворительной концентрации на столах мелких классов сланцев. Выходы концентратов в этом случае также равны примерно двукратным содержаниям органического вещества в исходных материалах, а степень концентрации достигает до 1,5. Обработка наиболее мелкого класса ( $-5 + 0$  мм) сопровождается повышенными потерями органического вещества в шламах и соответственно пониженными его извлечениями в концентрат. Сопоставление результатов этой обработки с результатами отсадки того же класса указывает на несколько большую удовлетворительность последней. Раздельная концентрация на столах классов  $-10 + 5$  и  $5 + 0$  мм сравнительно с концентрацией класса  $-10 + 0$  мм дает незначительное улучшение результатов и вряд ли может быть оправдана. В связи с тем, что удельная производительность столов должна быть в данном случае ниже, чем отсадочных машин, применение столов вместо отсадочных машин, очевидно, нерационально.

Следует отметить, что опыты концентрации на столах промпродуктов отсадки классов  $-100 + 40$  и  $-40 + 25$  мм сланцев после их дробления по  $-10$  мм не дали достаточно удовлетворительных результатов.

г) Обогащение в реожелобах

Концентрация прибалтийских сланцев в реожелобах не производилась. Весьма ограниченные по масштабу и недостаточно показательные опыты такой концентрации волжских (кашпирских) сланцев не дали четких осуждений о рациональности применения к сланцам этого вида концентрации.

Исходя из общих предпосылок, полагаем, что вряд ли этот процесс концентрации может оказаться надежным для обогащения сланцев, особенно мелких.

д) Пневматическая отсадка

До настоящего времени пневматическая отсадка испытана на мелких классах сланцев. Намечалось проектирование пневматической отсадки их, однако данных об обработке таких сланцев пневматической отсадкой не обнаружено.

Пневматическая отсадка сланцев производилась в воздушном пульсаторе. Значительное число опытов было поставлено в лабораторной отсадочной машине длиной 1,25 м и шириной 0,3 м. Крупность исходных материалов при испытаниях не превышала 32 мм. Отсадке подвергались классифицированные материалы (при шкале грохочения от



1,5 до 12) и неклассифицированные (включавшие мелочь до +0 мм). Влажность исходных материалов составляла 7—8 и 12—13%. При обогащении гдовских сланцев, качество продуктов обогащения оценивалось по содержанию в них золы, а для других сланцев — по содержанию углекислоты. В последнем случае имелась возможность судить о содержании в продуктах органического вещества.

При отсадке неклассифицированных гдовских сланцев выяснилось, что наилучшие результаты получаются при крупности материала — 20+0 мм. Но они оказались ниже результатов отсадки классифицированных смесей. При обогащении последних лучшие результаты были получены для классов —20+5 и —25+5 мм. При отсадке класса —25+5 мм получены следующие показатели:

Продукты	Выход	Содержание золы
Концентрат . . . . .	39,2	47,9
Пром. продукт . . . . .	14,7	52,2
Хвосты . . . . .	46,1	59,6
Исходный материал —25+5 мм . . . . .	100,0	53,9

Для сланцев крупностью —25+6 мм получено:

Продукты	Выход	Содержание %	Содержание органического вещества	Извлечение органического вещества
Концентрат . . . . .	43,0	46,3	40,6	71,8
Промежут. продукт . . . . .	13,8	52,6	24,6	
Хвосты . . . . .	41,9	56,5	18,3	28,2
Пыль . . . . .	1,3	50,7	39,4	
Исх. материал —25+ +6 мм . . . . .	100,0	51,5	29,1	100,0

Как видно, в обоих случаях содержание золы в концентратах отсадки снижается сравнительно с исходными материалами на 5—6%. Выход концентрата получается равным примерно полуторакратному содержанию органического вещества в исходном материале, степень концентрации органического вещества составляет примерно 1,4, выход пыли 1,3% (по Гдову около 1%).

Наименее удовлетворительно пневматической отсадкой обогащаются классы —10 мм, особенно классы —5+0 мм и 3+0 мм.

Обработка класса —5+0 мм Гдова характеризуется следующими данными:

Продукты	Выход в %	Содержание золы %
Концентрат . . . . .	48,9	57,5
Промежут. продукт . . . . .	24,9	58,0
Хвосты . . . . .	26,2	64,8
Исходн. материал —5+ +0 мм . . . . .	100,0	59,4

Они указывают на неудовлетворительность пневматической отсадки этого класса.

Сопоставление результатов пневматической и мокрой отсадки этого класса приводит к выводу, что в последнем случае зольность концентрата примерно на 7% ниже, чем в первом случае, а зольность хвостов примерно на 3% выше. Пневматическая отсадка класса  $-5 + 0$  мм и классы меньшей крупности оказывается неудовлетворительной. При испытании детально не выяснялось влияние влажности исходных материалов на результаты отсадки. Однако из опытов следует, что разница в результате отсадки класса  $-25 + 5$  мм при влажности его 13 и 7% получается незначительная.

Следует полагать, что отсадка мелких классов ( $-5$  мм) без подсушки будет невозможна. Необходимо отметить, что опыты пневматической отсадки были проведены в недостаточно удовлетворительных условиях — при нестрегулированном питании машин исходным материалом, воздухом, затруднениях в разгрузке крупной тяжелой фракции, неустановившейся влажности исходного материала. При опытах имели место прорывы воздуха постели материала в машине, ее выбросы воздушным потоком. Ввиду отмеченных причин полученные при испытаниях показатели пневматической отсадки являются заниженными. Однако опыты обработки класса  $-5 + 0$  мм в пневматическом пульсаторе, проведенные в более удовлетворительных условиях, не дали существенного улучшения результатов отсадки этого класса. То есть даже при устранении указанных выше неомальностей, имевших место в пневматической отсадочной машине, вряд ли можно ожидать удовлетворительных результатов при пневматической отсадке классов  $-5$  мм. Что же касается пневматической отсадки класса  $-25 + 5$  мм, то по качеству получаемых при ней концентратов (с учетом их влажности) она оказывается конкурентно-способной мокрой отсадке этого же класса, но извлечение органического вещества в обогащенные продукты пневматической отсадки оказывается на 7—12% ниже, чем мокрой отсадке.

Как отмечено, пневматическая отсадка материала крупнее 32 мм и производилась. При незначительном увлажнении крупных концентратов мокрой отсадкой замена последней пневматической представляется не рациональной, ввиду значительного расхода при ней воздуха (энергии) и получения худших показателей.

#### в) Концентрация на пневматических столах

Концентрация сланцев на пневматических столах испытана в небольшом масштабе на материалах Гдова. Испытанию были подвергнуты классы  $-5 + 2$  и  $-2 + 0,5$  мм. Суммарные результаты отдельной обработки этих двух классов оказываются несколько лучше результатов обработки класса  $-5 + 0$  мм.

Данных для сопоставления результатов обработки на пневматических столах и в осадочных машинах нет.

### IX. Флотационное обогащение сланцев

До сих пор вопрос о флотации сланцев, как методе промышленного их обогащения, не ставился. С экономической точки зрения этот метод обогащения может оказаться неприемлемым, хотя экономических расчетов в этом направлении проводилось немного. С технической стороны ввиду весьма мелкой вкрапленности органического вещества в сланцах лишь флотационное обогащение их может обеспечить получение наиболее богатых органическим веществом концентратов, при наиболее высоком его

извлечении в них. При исследовании сланцев, флотация была привлечена главным образом для изучения механического состава этих материалов. Вначале (в работах Механобра) флотация была применена для исследования сланцев первого пласта Гдовского месторождения.

В последнее время<sup>1</sup> она была использована Горным институтом для изучения состава сланцев различных пачек месторождения. В первом случае (Гдов) флотации был подвергнут концентрат ручной разборки класса +100 мм. Измельчение его перед флотацией проводилось в шаровой мельнице до крупности —0,1 мм: флотация осуществлялась с помощью керосина (—0,4—0,6 л/т) и скипидара (0,15, 0,25 л/т). В отдельных случаях при флотации вводилось жидкое стекло. Концентрат основной флотации подвергался четырехкратной перечистке. Конечный концентрат имел выход до 25% от исходного для флотации материала и зольность около 20%. При флотации сланцев различных пачек месторождения Ку-рузе рецептуре реагентов, близкой к указанной, измельчения исходного материала перед флотацией до —0,15 мм выяснилось, что при содержании органического вещества в пачках 28—37%, концентраты основной флотации получают с содержанием органического вещества 50—54%, при извлечении его в концентраты 89—96%. После одной перечистки концентрата основной флотации содержание органического вещества в концентратах повышается до 60—65%, при этом извлечение его снижается примерно до 70%.

Безусловно, поставленные до настоящего времени отдельные опыты флотации не могут охарактеризовать полностью возможностей флотационного обогащения сланцев, но полученные данные указывают на значительные возможности флотации в отношении снижения зольности концентрата. Постановка исследований в этом направлении представляет интерес.

## Х. Схемы и показатели обогащения сланцев

Как отмечено выше, в данное время предусматривается обработка сланцев преимущественно в крупнокусковом виде. При этом в задачу обогащения ставится обеззоливание сланцев (выделение из них породы) и получение обогащенных органическим веществом концентратов.

Все предложенные до сих пор схемы, в количестве 14, представляются однотипными. Для удобства рассмотрения их возможно сгруппировать с разбивкой на 4 группы (А, Б, В, Г).

В схемах группы А — рядовые сланцы разгрохачиваются на 3 или 4 класса крупности, из них 2 или 3 (исключая наиболее мелкий) обогащаются. Для обогащения крупного класса +100 мм предлагается ручная разборка, для класса +25 мм ручная разборка или мокрая отсадка, а для класса +5 мм (до 25) мокрая или пневматическая отсадка.

В схемах группы Б — рядовые сланцы разгрохачиваются на 2 или 3 класса крупности; обогащение класса +100 мм предусматривается ручной разборкой, концентрат разборки подвергается дроблению до —100 мм; в некоторых случаях после отгрохачивания из него мелочи он подвергается повторному обогащению. Обогащение класса средней крупности (+25 мм) предусматривается ручной разборкой отдельно или совместно с концентратом разборки крупного класса +100, дробленого до 100 мм.

В схемах группы В рядовые сланцы разгрохачиваются на 2 класса крупности; класс +100 мм подвергается дроблению до —100 мм и обрабатывается совместно с классом —100 м. В схемах этой группы отсутствует обогащение крупного класса +100 мм. Обработка всего матери-

<sup>1</sup> В 1946 г.

ала —100 мм производится в виде 2 или 3 классов крупности. Обогащение их предусматривается по форме, ручной разборкой, мокрой отсадкой, пневматической или мокрой концентрацией на столах. Нижний предел крупности материала, направляемого в обогащение, различный (25,5 и 0 мм).

В схеме группы Г — содержатся элементы схем групп Б и В.

В отличие от схем группы Б второй прием ручной разборки заменяется мокрой отсадкой. Обогащение крупной фракции второго грохочения намечается на 2 стадии. Одновременно в 2 приема намечается обогащение мелочи (20 или —12 мм).

Наиболее простыми по осуществлению являются схемы группы А. Схемы следующих групп последовательно усложняются.

До настоящего времени выбора надлежащей схемы обогащения не произведено и авторы схем не дают каких-либо определенных рекомендаций.

Очевидно, выбор той или иной схемы для отдельных шахт зависит в первую очередь от требований потребителей к продуктам обогащения. При соблюдении этих требований выбор схем может быть строго произведен лишь путем технико-экономического анализа, выполненного на основе проектной разработки процесса обогащения. На результаты анализа и, следовательно, на выбор схемы должны оказать влияние производительность обогатительной установки и качество исходного сырья. Последнее определяется при прочих равных условиях полнотой отборки породы +25 мм в забоях. Для всех случаев можно констатировать, что при большой производительности обогатительных установок и низком качестве сырья (сланцев) схемы с механизированными процессами обогащения, т. е. без ручной разборки, с экономической стороны должны быть предпочтительнее. С учетом этих условий и результатов испытаний из схемы группы А перспективной является схема II, а при вовлечении в обогащение также мелочи (—25 мм) — схема V. Схемы группы Б в предложенном виде с указанных точек зрения, должны рассматриваться как бесперспективные. Из схем группы В с тех же точек зрения может иметь значение лишь схема XII. Рассмотрению может подлежать также схема XIV (группа Г при исключении из нее мокрой отсадки мелочи. С учетом требований определенных ныне действующим ГОСТом из всех предложенных 14 схем технико-экономическому анализу должны подлежать схемы II, V, XII, XIV (в неполном виде). При прочих равных условиях, но при низком качестве исходных сланцев и жестких кондициях на продукты обогащения, схемы XII и XIV могут оказаться по технико-экономическим показателям предпочтительнее схем II и V. Хотя в этих схемах требуется дробление материала, которое вызовет повышение выхода мелочи при обработке, но их применение гарантирует удовлетворение жестких кондиций на продукты обогащения и обеспечит получение суммарного концентрата обогащения более высокого качества.

Обогащение мелочи (—25 мм) в указанных схемах либо не предусматривается вовсе (схема II), либо предусматривается частично (для +5 мм в схемах V, XII), либо полное (схема XIV).

Вопрос о необходимости и рациональности обогащения мелочи (—25 мм) требует специального технико-экономического анализа. При использовании концентратов ее обогащения в качестве топлива, рациональность обогащения мелочи<sup>1</sup> представляется сомнительной. При использовании ее для перегонки или газификации,<sup>2</sup> обогащение ее, возможно в сочетании с брикетированием концентратов, может явиться рациональным. Однако следу-

<sup>1</sup> В частности путем флотации.

<sup>2</sup> Или для каких-либо других специальных целей.

иметь в виду, что обогащение фракции  $-5 + 0$  мм, заключающейся в составе мелочи ( $-25$  мм) пневматическим путем, является бесперспективным, то есть ее обогащение может быть осуществлено либо путем мокрой отсадки, либо путем флотации.

На основании испытаний обогатимости сланцев, выдаваемых на поверхность, можно считать установленным, что путем ручной разборки из класса  $+100$  мм возможно получить концентраты с содержанием органического вещества  $42-46\%$  и хвосты с содержанием органики  $9-16\%$ . Показатели разборки этого класса будут зависеть в значительной степени от качества исходных сланцев.

Первоочередной задачей обогащения является механическое обогащение класса  $-100 + 25$  мм. Путем мокрой отсадки содержание в нем кусковой породы с  $12-22\%$  можно снизить до  $5\%$  (фракция более  $1,8$ ) без существенных потерь сланца в хвостах. Мокрая отсадка класса  $-100 + 25$  мм по сравнению с ручной разборкой должна гарантировать более стабильное качество продуктов обработки. Вопрос о содержании серы в концентрате мокрой отсадки класса  $-100 + 25$  мм специально не изучался. Но по сравнению с ручной разборкой при отсадке нет оснований ожидать повышения содержания серы в концентрате. Влажность концентрата мокрой отсадки класса  $-100 + 25$  мм после грубого обезвоживания на ситах не должна превышать влажность исходного материала более, чем на  $2-3\%$ . Если принять содержание класса  $-100 + 25$  мм в сланцах, выдаваемых на поверхность,  $40\%$ , то для шахты с производительностью по рядовому сланцу  $1000$  т/смену, потребная рабочая площадь отсадочных машин при содержании кусковой породы в исходном сырье  $12\%$  не должна превышать  $8$  м<sup>2</sup>. Если производительность одного выборщика при ручной разборке  $-100 + 25$  мм принять  $2,4$  т/смену, то при отборке из класса  $-100 + 25$  мм  $5\%$  видимой породы, при указанной производительности, потребовалось бы в смену  $10-11$  человек, а при отборке  $15\%$  видимой породы до  $30$  человек в смену. Таким образом, применение мокрой отсадки класса  $-100 + 25$  мм взамен ручной разборки, в зависимости от качества исходного материала, должно дать экономию в рабочей силе от  $6$  до  $25$  человек в смену. Эта экономия получается тем больше, чем больше должна быть производительность установки и чем ниже качество исходного сырья (сланцев). Зависимость показателей мокрой отсадки (выхода концентрата и содержания в нем органического вещества) от качества исходного сырья отмечена выше.

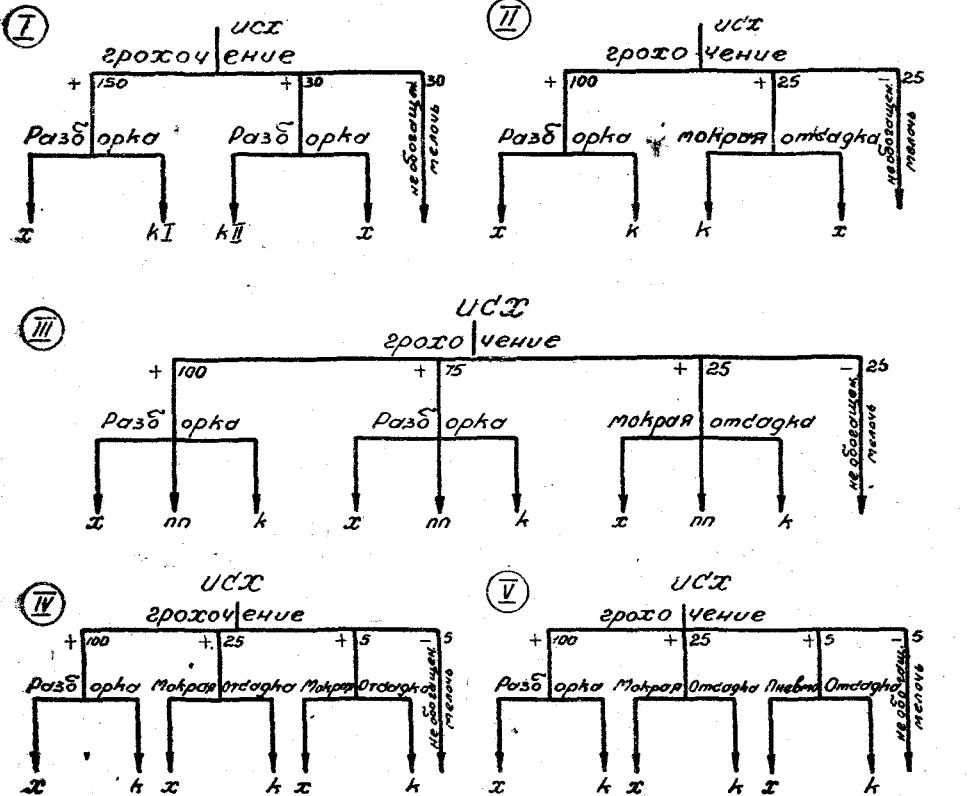
Технически обогащение класса  $-25 + 5$  мм рационально осуществить путем пневматической отсадки. Однако показатели ее в полной мере не выявлены и требуется полупромышленное испытание этого процесса для класса  $-25 + 5$  мм. Ориентировочные показатели, полученные при лабораторных испытаниях, фиксированы выше.

Приведенные данные позволяют рассчитать схемы обогащения II, V, При использовании материалов по дроблению класса  $+100$  мм исходных сланцев возможен расчет схемы XII.

Необходимо отметить, что обогащение классов  $+100$  и  $-100 + 25$  мм может быть осуществлено путем совместной обработки их в минеральных суспензиях при плотности среды разделения около  $1,7$ .

Соответствующие показатели такого обогащения должны быть близки к показателям разделения классов  $+25$  мм в тяжелой жидкости с удельным весом  $1,7$ . Этот процесс обогащения должен обеспечить более высокие показатели обогащения, чем мокрая отсадка: по стоимости он должен явиться вполне конкурентно-способным отсадке.

# Схемы группы А



# Схемы группы Б

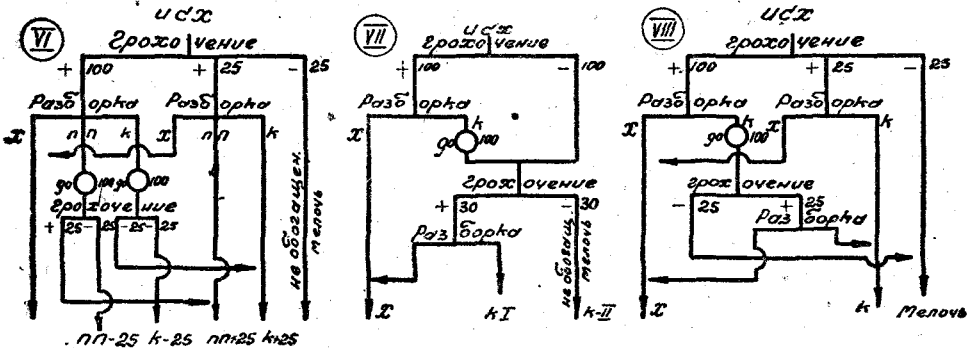
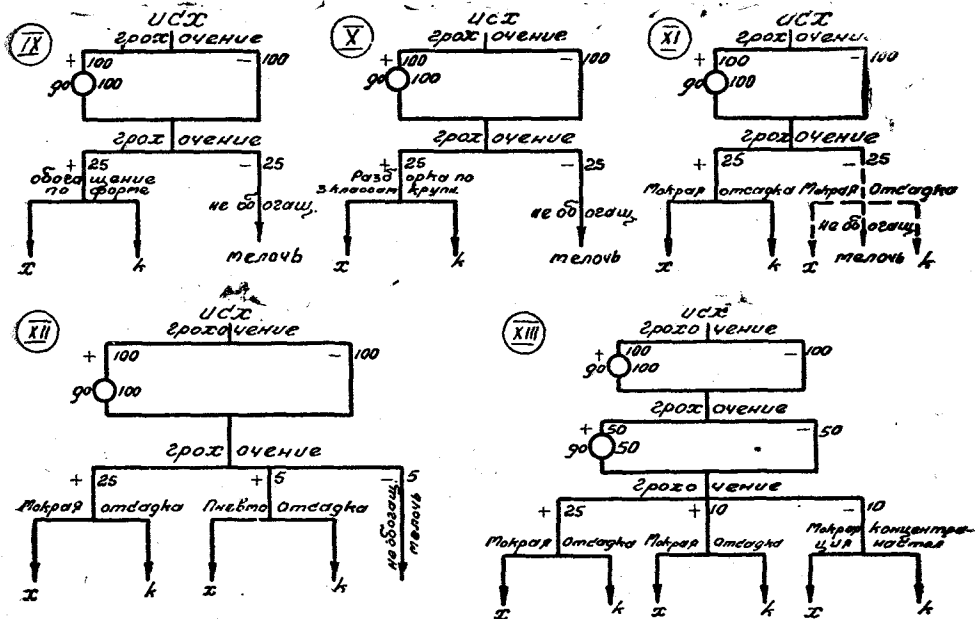


Рис. 1.

## схемы группы В



## схема группы Г

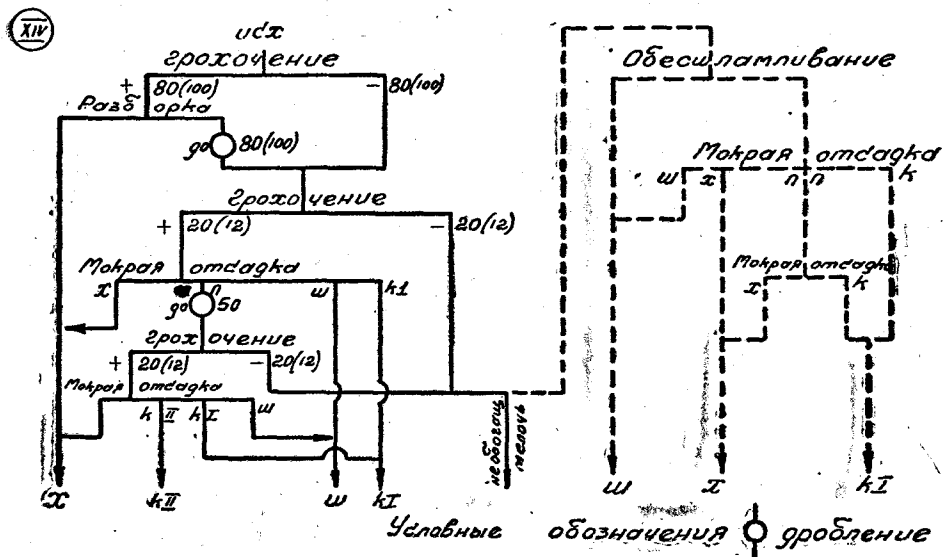


Рис. 2.

## XI. Ближайшие задачи в области обработки сланцев

В области исследования и проектирования возникают следующие вопросы, которые требуют изучения, уточнения и учета:

1. Исследование ручной разборки на одной из действующих сортировок с целью строгого выявления производительности ее на классах  $+100$  и  $-100+25$  мм.

2. Выявление влияния полноты отборки породы в забоях на производительность рабочих по забою и установление пределов ручной подземной породотборки (с учетом управления горным давлением в очистных забоях).

3. Исследование сланцев для установления кондиций на продукты обогащения.

4. Испытания пневматической отсадки сланцевой мелочи ( $-25$  мм) в полупромышленном масштабе.

5. Дополнительные исследования флотации сланцевой мелочи ( $-25$  и  $-5$  мм).

6. При ориентировке на действующие кондиции (ГОСТ 3293-46) проектирование промышленной установки для мокрой отсадки класса  $-100+25$  мм, с разработкой варианта совместного обогащения классов  $+100$  и  $-100+25$  мм в минеральных суспензиях.

В связи с отсутствием опыта промышленного механического обогащения сланцев и обоснованных кондиций на продукты обогащения при проектировании обогатительных установок должны быть предусмотрены известные возможности изменения схемы и условий обработки исходных материалов. Ввиду этого, вне зависимости от результатов технико-экономического анализа, которые получатся для отдельных схем обогащения, отмеченных выше, промышленная установка должна включать 2 или 3 приема грохочения материала, дробление класса  $+100$  мм сланцев до  $-100$  или  $-75$  мм, мокрую отсадку классов  $+25$  и  $+12$  мм.<sup>1</sup>

При проектировании полупромышленной пневматической установки для обогащения мелочи ( $-25$  мм) можно ориентироваться на применение трехступенчатых отсадочных машин, как более гибких в работе.

В заключение считаем долгом выразить благодарность главному инженеру Гипрощахта Д. Ф. Борисову, инженерам Б. А. Шредеру и Н. В. Грачеву, сделавшим ценные замечания при просмотре данной работы в рукописи.

<sup>1</sup> Вне зависимости от действующих кондиций (ГОСТ 3293-46)