

СОВЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
СВЕРДЛОВСКОГО АДМИНИСТРАТИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО
РАЙОНА

ВОСТОЧНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УГЛЕХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

М. В. ЦИПЕРОВИЧ

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ
ПЕТРОГРАФИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ
СЛАБОСПЕКАЮЩИХСЯ УГЛЕЙ КУЗБАССА
С ЦЕЛЮ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ КОКСОВАНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Свердловск, 1961

195/31

Центр дьяня научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

За последние 5—7 лет механическая прочность металлургического кокса на Востоке СССР снизилась, а зольность его повысилась. Имеется тенденция и к дальнейшему ухудшению качества кокса в ближайшие годы.

Систематическое ухудшение качества кокса является результатом неудовлетворительного развития сырьевой базы коксования, главным образом в Кузнецком бассейне, основном поставщике углей для коксования на Востоке СССР, а также недопустимого отставания в сооружении фабрик для обогащения угля. При лучшей постановке дела обогащения угля в Кузбассе можно было бы дополнительно использовать для коксования несколько миллионов тонн хорошо коксующихся, но многозольных углей.

Однако, кроме хорошо коксующихся многозольных углей, в Кузбассе имеются значительные резервы малозольных, но слабоспекающихся или вовсе не спекающихся углей, применение которых в шихтах, поступающих на коксование, не может быть осуществлено в значительных количествах (пласты Мощный, Двойной, Безымянный и др.). Обогащение таких углей должно быть направлено не на удаление золы, которая содержится часто в этих углях в незначительном количестве, а в основном на изменение их технологических свойств. Для этой цели должны применяться наиболее совершенные методы обогащения.

Существующие промышленные методы и технологические схемы обогащения углей предусматривают только удаление из угля минеральных примесей и высокозольных сростков. При обогащении существующими методами органическая масса угля не затрагивается и не изменяется.

Ископаемый уголь до последнего времени рассматривался как готовый, созданный природой материал, технологические свойства которого predeterminedены условиями генезиса. В действительности же при применении совершенных и точных методов обогащения можно получить концентрат, обладающий более высокими технологическими показателями, чем исходный уголь.

Это положение прежде всего касается углей балахонской свиты Кузнецкого бассейна, отличающихся петрографической неоднородностью.

По значительности ресурсов, их качественной характеристике и особенности строения наибольший интерес как со стороны петрографической обогатимости, так и в отношении использования для коксохимической промышленности представляют угли балахонской свиты, разрабатываемые в Прокопьевско-Киселевском и Анжеро-Судженском районах.

Угольные пласты балахонской свиты, в том числе Прокопьевско-Киселевского района, сложены преимущественно полуматовыми и матовыми типами, среди которых блестящий залегают в виде прослоев, линз или штрихов. Вследствие этого угли балахонской свиты характеризуются резкой полосчатостью и неоднородностью петрографического состава. Содержание витринита в них колеблется от 20 до 70%; в углях большинства пластов от 30 до 50%. Содержание лейптинита не превышает 2—3%; содержание семивитринита и фюзинита иногда равно количеству витринита.

М. Ю. Григорьев установил, что угольные пласты, слагающие балахонскую свиту, значительно различаются по содержанию и распределению золы, соотношению микрокомпонентов, а следовательно и по спекаемости.

Различное соотношение микрокомпонентов приводит к различной спекаемости отдельных угольных пачек. Эти различия настолько велики, что отдельные пачки должны быть отнесены к энергетическим углям, другие пачки того же пласта—к углям марки К₂, а некоторые — к углям марки К.

Таким образом, петрографически неоднородные угли Прокопьевско-Киселевского района могут рассматриваться как природная смесь углей с различной характеристикой — от неспекающихся до хорошо спекающихся включительно.

Разница между хорошо коксующимся углем пласта VI Внутреннего и слабо спекающимся углем пластов Мощного или Безымянного заключается в том, что первый в значительной части состоит из хорошо спекающихся, а последние два пласта содержат большое количество неспекающихся угольных пачек, и поэтому в целом уголь этих пластов мало или вовсе не спекается.

Проведенные П. А. Лекусом, С. И. Золотовым, М. Ю. Григорьевым и другими исследования свойств петрографически неоднородных углей Кузбасса показали, что блестящие угольные пачки, содержащие значительное количество витринита, характеризуются большой хрупкостью; напротив, матовые угольные пачки отличаются механической прочностью.

В результате при эксплуатации угольного пласта происходит естественное обогащение мелких классов хрупкими — блестящими и полублестящими компонентами угля, а крупных — более прочными матовыми и полуматовыми. Вследствие этого мелким классам полосчатых кузнецких углей, как правило, свойственна

большая спекаемость, чем рядовому углю, из которого они выделены.

Если обогащенный таким путем мелкий уголь подвергнуть дальнейшему обогащению путем разделения в тяжелых жидкостях, то во фракции удельного веса <1,3 или 1,35 сосредотачивается значительное количество блестящих и полублестящих компонентов угля. Во фракции удельного веса 1,35—1,4 уже преобладают полуматовые компоненты.

Благодаря такой концентрации блестящих и полублестящих компонентов спекаемость легких фракций значительно выше спекаемости исходного угля.

Разделение угля по такому низкому удельному весу обычно принятыми гравитационными методами (отсадка, обогащение в реожелобах и т. п.) невозможно. Это вызвано тем, что по мере снижения демаркационного удельного веса количество фракций, смежных с удельным весом разделения, резко возрастает. В результате в концентрат попадает значительное количество фракций большего удельного веса, чем заданный, а выход концентрата резко уменьшается за счет попадания легких фракций в промпродукт.

Для такого обогащения необходимы более совершенные методы разделения полезных ископаемых по удельному весу. Таким достаточно освоенным методом является обогащение в тяжелой среде, например, в минеральной суспензии. В этом случае практические результаты обогащения оказываются весьма близкими к теоретическим, полученным при разделении углей в тяжелых средах в лабораторных условиях.

Впервые в СССР нами проведены обширные исследования процесса обогащения углей в суспензии по низкому удельному весу в полупромышленном масштабе.

Для выяснения степени точности обогащения углей в минеральной суспензии нами проведены многочисленные опыты по обогащению труднообогатимых углей в трехпоточном и однопоточном сепараторах.

Наши опыты показали, что, несмотря на низкий удельный вес и значительное количество фракций, смежных с удельным весом разделения, разрыв между практически достигнутым и теоретически возможным выходом не превышает 1—2%. Засорение концентрата фракциями большего удельного веса, чем удельный вес разделения, не превышает 2%.

Из опытов также следовало, что количество смежных фракций сказывается и на результатах обогащения в минеральной суспензии, но значительно меньше, чем при отсадке.

Проведенные исследования показали также, что, учитывая малую зависимость результатов обогащения углей в минеральной суспензии в промышленных условиях от количества фракций, смежных с удельным весом разделения, этот метод

можно рекомендовать для обогащения по низкому удельному весу.

Однако метод обогащения углей в минеральной суспензии в статических условиях освоен только для угля с нижним пределом крупности частиц в 6 мм. В случае более мелких частиц разделение длится дольше, и требуется либо увеличение поверхности разделения, т. е. большие габариты сепаратора, либо производительность значительно снижается, причем точность разделения, как показали наши опыты, уменьшается.

Для глубокого обогащения углей размером менее 6 или 10 мм, содержащих большое количество фракций $\pm 0,1$, смежных с заданным удельным весом разделения, следует применять метод центробежного разделения в тяжелых средах.

Нами совместно с сотрудниками (В. П. Курбатов, В. В. Хворов) проведено всестороннее исследование гидроциклона, как аппарата для разделения угля в центробежном поле. Проведенные исследования показали возможность разделения углей по низкому удельному весу, т. е. осуществления глубокого обогащения без значительных потерь угля в отходах, даже при наличии большого количества фракций $\pm 0,1$, смежных с удельным весом разделения.

Таким образом, уголь размером ± 1 мм можно достаточно точно разделить по низкому удельному весу.

Однако угольную пыль размером частиц менее 1 мм, содержание которой в углях, вследствие механизации выемки, достигает 25—30%, разделить по низкому удельному весу в промышленных условиях не представляется возможным.

Для обогащения угольной пыли требуются специальные методы, в первую очередь флотация. Однако флотация применяется в настоящее время только для обеззоливания угля, и практически в результате флотации отделяется только порода (фракции удельного веса больше 1,6).

Разделение угля на петрографические элементы путем флотации, несмотря на многочисленные исследовательские работы, осуществить не удалось. Между тем, ввиду различных поверхностных свойств блестящих и матовых компонентов угля, флотация его по петрографическому признаку (селективная флотация) может быть осуществлена.

При исследовании влияния действия различных индивидуальных органических соединений, применяемых в качестве собирателей, при раздельной флотации матовых и блестящих компонентов углей, нами разработана методика флотации угля по петрографическому признаку.

Таким образом, применяя обогащение угля крупностью +1 мм в тяжелых средах и селективную флотацию для угольной пыли (—1 мм), можно обогатить уголь по петрографическому признаку, т. е. сконцентрировать блестящие компоненты, обус-

ловливающие спекаемость угля в одном из продуктов обогащения.

Обогащая по такой схеме петрографически неоднородные слабоспекающиеся угли балахонской свиты Кузнецкого бассейна, возможно получить концентрат, который ввиду более высокой спекаемости может быть использован в значительных количествах в шихтах, направляемых для коксования.

Наши многолетние исследования процесса обогащения углей в суспензии и условий для осуществления флотации углей по петрографическому признаку систематизированы и изложены в диссертации.

Таким образом, диссертация является результатом разработки автором таких методов обогащения, которые позволили бы не только снизить зольность обогащаемого угля, но и изменить в желательную сторону его технологические свойства.

Работа изложена в 15 главах на 402 страницах, содержит 148 таблиц, 77 рисунков и список цитируемой и упоминаемой литературы, включающей 243 наименования.

В 1 главе рассматривается влияние петрографического состава углей на спекаемость и методы их разделения по петрографическому признаку. Глава в основном составлена по литературным источникам.

Рассмотрены состав и свойства петрографических ингредиентов и микрокомпонентов углей, показано различие химического состава ингредиентов угля, их спекаемости и физико-химических свойств. Сделан вывод, что, используя различие физико-химических и физико-механических свойств ингредиентов угля, возможно произвести разделение угля на продукты с преимущественным содержанием структурных его элементов.

Учитывая, как это показано М. Стопс, Бусере, Катвинкелем, М. А. Степаненко, Л. М. Майером, М. В. Гофтманом, Л. Е. Цукерман, Л. Л. Нестеренко, М. Е. Поповой и др., что спекаемость структурных элементов различна, можно путем специальных методов обогащения сконцентрировать спекающиеся элементы угля в одном из продуктов обогащения.

Вместе с тем, учитывая, как это показано Лессингом, И. И. Аммосовым и другими, что зольность ингредиентов различна и наименьшая в витрене и кларене, зольность продукта, обогащенного спекающимися элементами угля, будет весьма низкая.

Рядом исследователей—М. Г. Ельяшевич, Горсли и Смитом и другими показано, что поверхностные свойства ингредиентов различны—блестящие элементы угля более гидрофобны, чем матовые. Учитывая это обстоятельство и усилив различие спекаемости соответствующими реагентами, возможно было бы осуществить селективную флотацию по петрографическому признаку. Однако, как это показано в первой главе практиче-

ского решения этого вопроса до настоящего времени не было найдено.

Также показано, что физико-механические свойства ингредиентов угля различны. Блестящие элементы угля с повышенной спекаемостью менее прочны, чем матовые. Это различие также пытались использовать для концентрации блестящих элементов в одном из продуктов обогащения, производимого путем избирательного дробления угля. Впервые это было проведено Леманом и Гоффманном в Германии, затем в СССР процесс исследовался С. И. Золотовым, П. А. Лекусом и в последнее время М. Ю. Григорьевым в Кузбассе и И. Е. Коробчанским в Донбассе.

Однако проведенные нами исследования показали, что метод избирательного дробления недостаточно эффективен для разделения углей по петрографическому признаку.

Из рассмотренного в первой главе литературного материала следует:

1. Спекаемость угля определяется количественным соотношением петрографических микрокомпонентов и их качеством.

2. Меняя в угле соотношение микрокомпонентов, можно до некоторой степени управлять спекаемостью угля.

3. Соотношение микрокомпонентов в углях возможно изменить путем использования различия их смачиваемости, удельного веса и твердости.

4. Избирательное дробление, флотация и отсадка не дают возможности осуществить обогащение углей по петрографическому признаку.

Исходя из этого, автор поставил перед собой следующие задачи:

1. Экспериментально проверить возможность применения избирательного дробления, отсадки (гидравлической и пневматической) и флотации для обогащения неоднородных слабоспекающихся углей Кузбасса по петрографическому признаку.

2. При подтверждении литературных данных о недостаточной эффективности этих методов для обогащения углей по петрографическому признаку, исследовать процесс обогащения углей в тяжелых средах с целью его применения для этой цели в разработать условия, обеспечивающие селективность флотации.

Такие исследования были проведены и изложены в последующих главах.

Во II главе приведены результаты исследований условий обогащения слабоспекающихся углей Кузнецкого бассейна с целью концентрации блестящих компонентов угля.

Представители петрографически неоднородных слабоспекающихся углей Кузбасса (ш. Северная, пласт Кемеровский, ш. им. Ворошилова, товарный уголь марки СС, ш. Зиминка,

товарный уголь марки СС; ш. Манейха, товарный уголь марки СС) были обогащены различными способами: путем избирательного дробления, разделением в тяжелых жидкостях, в пневматических и в гидравлических отсадочных машинах и флотацией.

Обогащение путем избирательного дробления производилось на опытной установке М. Ю. Григорьевым в Кузбассе.

Таблица 1
Качественные показатели исходного угля и продуктов избирательного дробления

Наименование угля	Исходный уголь			Продукты избирательного дробления		
	содержание золы, %	толщина пластического слоя (У), мм	содержание витрина, %	содержание золы, %	толщина пластического слоя (У), мм	содержание витрина, %
Ш. Северная, пл. Камеровский						
+12 мм	15,11	9	43,2	19,84	5	30,0
12-1 мм	15,44	9	55,5	13,51	6	42,5
1-0 мм	16,81	10	73,3	15,60	8	62,3
12-0 мм	17,67	9	63,2	15,26	8	57,5
Ш. им. Ворошилова, товарный уголь СС						
+12 мм	10,98	0	35,0	12,20	0	26,0
12-1 мм	15,90	5	45,4	16,63	5	42,5
1-0 мм	14,26	8	55,7	13,48	11	64,3
12-0 мм	14,06	8	46,2	15,04	7	50,3
Ш. Зиминка, товарный уголь СС						
+12 мм	6,04	0	26,8	6,23	0	29,0
12-1 мм	8,01	8	46,4	10,85	6	37,8
1-0 мм	8,08	8	67,7	8,33	8	58,0
12-0 мм	8,23	7	39,7	9,22	6	38,0
Ш. Манейха, товарный уголь СС						
+12 мм	14,79	0	32,0	19,05	0	26,4
12-1 мм	16,50	6	45,7	17,32	8	41,3
1-0 мм	14,12	9,5	61,3	13,98	9	62,7
12-0 мм	16,50	8	49,5	10,22	9	42,0

Конечные результаты, приведенные в табл. 1, позволяют сделать следующее заключение:

1. Зольность класса +12 мм в рядовом угле всех 4 исследованных проб в различной степени, но ниже зольности надRESHETного продукта грохота-дробилки. Это обстоятельство можно рассматривать как одно из доказательств выдрабливания некоторой части низзолного, легко крошащегося материала из крупного угля.

2. При избирательном дроблении угля пл. Кемеровского, в котором пластический слой крупного угля (+12 мм) довольно высок, происходит снижение величины пластического слоя в надрешетном продукте. Это также подтверждает обеднение крупного угля хорошо спекающимися частицами после эластичного удара. В других углях это явление не выявлено, так как пластический слой крупного угля (+12 мм) равен нулю.

3. Петрографический состав также подтверждает выдрабывание блестящих частиц из крупного угля.

4. Качество подрешетного продукта после избирательного дробления и сортировки по сравнению с качеством класса 12—0 мм рядового угля не улучшается.

Таким образом, следует считать, что избирательное дробление в барабанной дробилке с эластичным ударом по крупному углю приводит к некоторому выдрабыванию легко крошащегося блестящего угля; этим самым несколько увеличивается выход подрешетного продукта. Но, наряду с выдрабыванием блестящих частиц, дробится и матовая часть угля, вследствие чего качество подрешетного продукта не улучшается по сравнению с тем же классом в исходном угле, а при определенных условиях может даже ухудшаться.

Следовательно, избирательное дробление для улучшения качества мелкого угля, а именно с целью увеличения его спекаемости — нецелесообразно.

Подрешетный продукт дробилки для избирательного дробления направлялся в пневматическую отсадочную машину (ПОМ-1).

Проведенное исследование работы пневматических отсадочных машин показало, что снижение зольности отсева происходит. Однако технологические показатели угля изменяются весьма незначительно, и это изменение практического значения не имеет.

Подрешетный продукт избирательного дробления этих же углей обогащался в укрупненно-лабораторной отсадочной машине. Результаты работы последней позволили прийти к заключению, что при этом процессе зольность концентрата можно заметно снизить, однако спекаемость (так же, как и содержание витринита) не меняются. Это объясняется наличием значительного содержания в концентрате фракции удельного веса 1,35—1,4, хотя и низкозольной, но состоящей в основном из матовых разновидностей угля. Следует отметить, что выход концентрата резко снижен против теоретического, поскольку процесс велся по низкому удельному весу, вследствие чего имели место большие потери угля в промпродукте.

Проведенные флотационные опыты показали, что технологические свойства (спекаемость) флотоконцентрата также мало

изменились по сравнению с исходным материалом, поступившим на флотацию.

Таким образом, во второй главе было показано, что обычно применяемыми способами обогащения невозможно сконцентрировать витринит настолько, чтобы заметно повысить спекаемость обогащенного угля.

Поскольку разделение угля размером более 1 мм по низкому удельному весу возможно осуществить в промышленных условиях только в тяжелых средах, в главах III—VIII диссертации всесторонне освещается этот процесс на основе исследований автора.

В III главе рассмотрены теоретические основы процесса обогащения углей в тяжелых средах и свойства минеральных суспензий (на основе литературного обзора). Процесс обогащения в тяжелых средах получил распространение с тех пор, как было установлено, что суспензии, приготовленные из тонкоизмельченного утяжелителя при особых условиях могут быть уподоблены гомогенным жидкостям.

Помещенные в гомогенную жидкость твердые тела всплывают или погружаются в зависимости от величины их удельного веса.

Независимо от направления движения твердого тела, при перемещении последнего в жидкости, приводятся в движение расположенные вблизи ее элементарные слои. При этом возникает динамическое сопротивление инерционных сил. Кроме того, возникает вязкостное сопротивление сил трения, образующихся между телами и жидкостью и отдельными слоями жидкости, перемещающимися с различной скоростью.

В зависимости от размеров частиц, перемещающихся в жидкой среде, преобладает тот или другой вид сопротивления. При движении частиц более 1 мм, сопротивление в основном носит динамический характер, а при движении частиц менее 1 мм сопротивление главным образом зависит от вязкости среды. Так как обогащение угля в тяжелых средах в статических условиях, т. е. под влиянием только силы тяжести, производится для кусков размером больше 6—10 мм, то в основном имеет значение только динамическое сопротивление. Поэтому скорость опускающихся или поднимающихся в тяжелой среде частиц, т. е. подвижность, зависит, в первую очередь, от их размера и разницы в удельных весах частиц и жидкой среды. Мелкие частицы и частицы, удельный вес которых приближается к удельному весу жидкости, разделяются по удельным весам медленно.

Анализируя формулы Стокса и Аллена, предложенные для расчета скорости падения частиц соответственно при числе Рейнольдса $Re < 1$ и $Re = 2 - 300$, видим, что увеличения скорости

Движения мелких частиц можно достигнуть, заменив ускорение силы тяжести ускорением центробежной силы.

Центробежное поле в жидкой среде можно осуществить либо путем применения центрифуг, либо в гидроциклонах. Процесс обогащения полезных ископаемых в тяжелой жидкости разработан теоретически и практически А. З. Юровским. В диссертации рассмотрены вопросы теории обогащения углей в гидроциклонах и разработан расчет его основных параметров.

Поскольку свойства суспензии в значительной степени определяют успешность процесса обогащения в тяжелых средах, еще в 1949—51 гг. автор диссертации исследовал важнейшие свойства (вязкость и устойчивость) суспензий, приготовленных из пригодных и доступных материалов.

В главе IV всесторонне рассмотрены вопросы, связанные с изучением свойств суспензий, пригодных для осуществления процесса обогащения углей в тяжелых средах. В качестве утяжелителей для приготовления суспензий были взяты пирит, пиритные огарки, магнетит и колошниковая пыль, измельченные до 100% под сито 0,5 мм.

Утяжелители сортировались на классы 0,3; 0,15; 0,1 и 0,074 мм. Из этого материала готовили суспензии различного удельного веса от 1,2 до 2,0. Приготовленные суспензии подвергали испытаниям в вискозиметре для определения вязкости.

Из полученных нами результатов изучения вязкости следовало, что наиболее пригодными утяжелителями для приготовления суспензий с целью обогащения по низкому (1,3) и высокому (1,8) удельным весам являются пирит и магнетит.

Приготовленные из этих утяжелителей суспензии испытывались также на устойчивость. Проведенные опыты показали, что частицы пиритных огарков имеют наименьшую скорость осаждения, независимо от крупности. Вместе с тем скорость осаждения утяжелителя при любой крупности частиц уменьшается по мере повышения удельного веса суспензии. Скорость осаждения колошниковой пыли и пиритных огарков оказывается весьма низкой уже при удельном весе суспензии 1,4. Поскольку магнитными свойствами эти утяжелители не обладают, отделение их от угольного и глинистого шлама следует осуществлять гидравлическим путем, но при такой незначительной скорости осаждения гидравлическую регенерацию осуществить нельзя. Поэтому и с этой точки зрения для приготовления суспензии следует остановиться на пирите или магнетите. Так как магнетит обладает магнитными свойствами и регенерация его в магнитных отделителях несложна, для дальнейших исследований мы остановились на магнетите, как утяжелителе для приготовления суспензии.

Однако суспензия, приготовленная даже из тонкоизмельченного магнетита, неустойчива, и необходимо принять меры для ее стабилизации. Стабилизацию суспензии осуществляют рядом методов. После критического рассмотрения их и экспериментальной проверки мы остановились на методе горизонтального перемещения суспензии.

Если осуществить равномерное перемещение суспензии в горизонтальном направлении, то, при определенных ее скорости, скорости падения частиц утяжелителя и заданных геометрических размерах ванны, частицы утяжелителя не будут выпадать, и суспензия стабилизируется.

Взаимосвязь между этими величинами выражается следующей зависимостью:

$$\frac{L}{\omega} \leq \frac{h}{v},$$

где v — скорость осаждения частицы утяжелителя, м сек,
 ω — скорость потока суспензии в горизонтальном направлении, м сек,

L — длина потока (длина ванны), м,

h — высота потока суспензии, м.

Повышение устойчивости грубодисперсной суспензии можно осуществить путем образования равномерно-ускоренного движения потока. При этом траектория движения частицы и равномерно ускоренном потоке выражается следующим уравнением (Д. А. Соколов):

$$-\frac{\operatorname{tg} \alpha}{2H} x^2 + x = \frac{v}{\omega} y,$$

где α — угол наклона ванны, град;

H — максимальная глубина ванны, м;

v и ω имеют прежние значения.

Исходя из этих зависимостей нами разработана конструкция ванны сепаратора, при движении через которую суспензия остается стабильной и уподобляется гомогенной жидкости высокого удельного веса.

В главе V изложены принципы, положенные в основу конструкции однопоточного сепаратора для обогащения крупного угля в суспензии, и описан разработанный нами сепаратор.

В этом сепараторе применяется приготовленная из тонкоизмельченного магнетита суспензия, стабилизируемая путем осуществления ее равномерно-ускоренного движения.

Разработанный автором сепаратор оказался пригодным для обогащения углей разной крупности; обеспечивая точное разделение угля по любому заданному удельному весу в пределах 1,3—1,8, он позволял производить обогащение самых различных углей по степени трудности разделения; отличался достаточно

высокой производительностью; не требовал больших затрат на изготовление и эксплуатацию; несложен по конструкции.

Сепаратор был установлен на опытной установке в Губахе и дал вполне удовлетворительные результаты при обогащении угля в суспензии.

Однако в этом сепараторе оказалось невозможным обогащать уголь мельче 6 мм. Необходимо было изыскать возможность точного разделения мелкого угля по низкому удельному весу. Этот вопрос рассмотрен в главе VI.

Нами уже отмечалось, что только путем замены ускорения силы тяжести ускорением центробежной силы возможно резко увеличить скорость движения частиц в среде заданного удельного веса. Движение частиц в центробежном поле легко можно осуществить в гидроциклоне, причем в качестве тяжелой среды возможно применить суспензию. Проведенные опыты показали, что разделение угля по заданному удельному весу в гидроциклонах происходит достаточно точно.

В течение ряда лет нами исследовались многочисленные факторы, влияющие на эффективность обогащения. Вначале исследовалась работа гидроциклона в лабораторных условиях, затем на укрупненно-лабораторной установке, а затем на полупромышленной установке в Губахе.

Проведенные исследования позволили установить следующие закономерности:

1. Основным фактором, оказывающим заметное влияние на результаты обогащения в гидроциклоне, является соотношение диаметров верхнего разгрузочного отверстия (для выпуска концентрата) и нижнего (для выпуска отходов). Особенно резко меняются результаты обогащения с изменением диаметра нижней насадки.

2. Диаметр нижнего разгрузочного отверстия должен быть в 4—5 раз больше диаметра наибольшего зерна обогащаемого угля.

3. Отношение диаметров верхнего и нижнего разгрузочных отверстий должно быть 5:3 и уточняться экспериментальным путем.

4. Отношение твердого вещества в жидкой фазе к пульпе, направляемой в гидроциклон, должно быть в пределах 1:4—1:6. Уменьшение этого соотношения увеличивает эффективность обогащения, и при обогащении труднообогатимых углей желательно уменьшить отношение Т:Ж. Однако снижение этой величины уменьшает производительность циклона.

5. Центральная труба для вывода концентрата должна быть опущена на 15—20 мм в коническую часть циклона.

6. Эффективность обогащения несколько снижается при увеличении количества фракций, удельный вес которых близок к удельному весу разделения.

7. Эффективность обогащения повышается с увеличением удельного веса разделяющей среды.

8. Наличие угольной пыли в обогащенном угле (до 15%) не снижает эффективности обогащения.

В гидроциклонах, на которых были проведены исследования, угол вершины конической части циклона составлял 30°.

Далее было проверено и найдено, что наклонно установленный гидроциклон дает высокую эффективность разделения угля по заданному удельному весу при значительно меньшем давлении суспензии на вводе, что упрощает и удешевляет схему установки.

В диссертации приведена методика расчета гидроциклона и выбор его основных размеров.

Ввиду сложных гидродинамических условий работы циклона расчетом можно определить только некоторые его параметры.

Производительность циклона нами предложено определять по формуле:

$$Q = 2f_c \frac{d_n}{d_v} \sqrt{2gh} \text{ м}^3/\text{час.},$$

где f_c — площадь сечения подводящего трубопровода, м^2 ;
 d_v — диаметр верхнего разгрузочного отверстия, м ;
 d_n — диаметр цилиндрической части гидроциклона, м ;
 h — напор, мм вод. столба.

Нами также обосновано, что диаметр питающего отверстия должен быть равным 1/5 диаметра цилиндрической части гидроциклона.

Диаметр верхнего разгрузочного отверстия рекомендовано определять по следующей формуле (В. П. Курбатов):

$$d_n = D \sqrt{\frac{d_n}{H}},$$

где D — диаметр цилиндрической части циклона, мм ;
 d_n — диаметр вводного отверстия, мм ;
 H — расстояние от нижнего разгрузочного отверстия до верхней кромки центральной разгрузочной трубы, мм .

Оптимальное отношение диаметра питающего отверстия к диаметру верхнего разгрузочного отверстия должно быть в пределах 1—2. Высота цилиндрической части гидроциклона должна быть принята равной $0,5D$.

Угол при вершине конуса гидроциклона следует принимать в пределах 25—30°.

В результате исследований была создана полупромышленная установка в Губахе, на которой возможно было произвести точное обогащение мелких углей (в том числе и слабоспекающихся) по низкому удельному весу, схема которой и характеристика аппаратуры подробно описаны в диссертации.

Перед изложением результатов обогащения слабоспекающихся углей в суспензии, как в однопоточном аппарате, так и в гидроциклоне, в главе VII мы остановились на методе оценки результатов промышленного обогащения углей в тяжелых средах.

Поскольку результаты промышленного обогащения в тяжелых средах весьма близки к результатам лабораторного, понадобились новые методы их оценки.

Критический анализ имеющихся методов оценки результатов обогащения позволил нам разработать несложный аналитический метод, который, как показали наши многочисленные опыты, давал возможность объективно оценивать эффективность процесса.

В основу метода положены следующие допущения: 1) количество посторонних фракций в концентрате и отходах равны между собой; 2) в пределах узкой фракции приращение выхода прямо пропорционально приращению удельного веса.

Располагая стандартным фракционным анализом продуктов, полученных при обогащении в суспензии, действительный удельный вес разделения нами предложено определять из уравнения:

$$x = a + 0,1 \frac{B - A^1 - B^1}{A + B},$$

где a — ближайший удельный вес жидкости более тяжелой, чем предполагаемый удельный вес разделения;

A — содержание фракции удельного веса $a - (a - 0,1)$ в концентрате, пересчитанное на исходный уголь, %;

B — содержание фракции удельного веса $a + (a + 0,1)$ в концентрате, пересчитанное на исходный уголь, %;

A^1 — содержание фракции удельного веса $a - (a - 0,1)$ в отходах, пересчитанное на исходный уголь, %;

B^1 — содержание фракции удельного веса $a + (a + 0,1)$ в отходах, пересчитанное на исходный уголь, %;

Определив действительный удельный вес разделения, легко найти извлечение легких фракций в концентрат (фракции легче удельного веса разделения) и тяжелых — в отходы (фракции тяжелее удельного веса разделения).

Эти цифры показывают эффективность разделения, но для удобства сравнения нами предложено оценку эффективности производить по формуле

$$K = 0,01 \sqrt{\epsilon_k \epsilon_0},$$

где ϵ_k — извлечение легких фракций в концентрат, %;

ϵ_0 — извлечение тяжелых фракций в отходы, %;

В главе VIII приведены результаты обогащения слабоспекающихся углей на опытной установке. Установка включала ос-

новные обогатительные агрегаты — однопоточный сепаратор, два последовательно установленных гидроциклона, оборудование для приготовления и регенерации суспензии и аппаратуру для автоматического поддержания удельного веса суспензии.

В качестве утяжелителя применялся магнетит удельного веса 4,9 с содержанием 99% магнитной части. После окончательного измельчения в магнетите содержалось 90% частиц размером +0,44 мм.

Результаты обогащения слабоспекающихся углей в суспензии в однопоточном сепараторе и гидроциклоне приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2
Результаты обогащения слабоспекающихся углей в однопоточном сепараторе

Наименование угля	Класс мм	Исходный уголь		Концентрат				Уд. вес разделения
		зола %	пласт-слой мм	выход %	зола %	пласт-слой мм	содержание тяжелых фракций, %	
Товарный уголь ш. 9/15 Анжеругля	25—6	9,35	намеч.	68,70	4,20	8	2,72	1,30
Пласт Кемеровский ш. Северная	25—6	11,86	9	71,25	4,62	13	1,15	1,345
Товарный уголь ш. Манзиха	25—1	16,75	6	60,50	3,55	10	0,72	1,348
Пласт Мощный ш. Зинминка	25—6	9,31	8	78,35	0,30	10	0,87	1,342
Пласт Мощный ш. им. Ворошилова	25—6	8,88	5	68,00	3,8	8	1,68	1,348

Таблица 3
Результаты обогащения слабоспекающихся углей в суспензии в гидроциклоне

Наименование угля	Класс мм	Исходный уголь		Концентрат				Уд. вес разделения
		зола %	пласт-слой мм	выход %	зола %	пласт-слой мм	содержание тяжелых фракций, %	
Пласт Мощный ш. Суртанха	6—1	6,53	0	72,90	3,22	7	1,55	1,308
Пласт Мощный ш. 4—6	6—1	5,92	0	41,53	2,40	7	1,41	1,301
Пласт Мощный ш. Зинминка	6—1	9,60	намеч.	71,70	3,58	7	2,69	1,303
Пласт Мощный ш. 3—3 бис	6—1	14,05	0	40,15	2,30	9	1,79	1,303

Эти данные показывают следующее:

1. Спекаемость концентрата выше спекаемости исходного угля. Таким образом путем глубокого обогащения по низкому удельному весу можно из неспекающихся или слабоспекающихся петрографически неоднородных углей получить концентрат, обладающий заметной спекаемостью ($y-7-9$ мм).

2. Выход обогащенного угля колеблется в довольно широких пределах, в зависимости от природы исходного угля. Однако только в двух случаях из одиннадцати выход концентрата составлял 40—42%. Во всех остальных случаях он колебался в пределах от 60 до 78% обогащаемого угля.

3. Зольность обогащенного угля значительно меньше исходного.

4. Зольность отходов низкая, поэтому, будучи лишены спекаемости, они могут быть использованы в качестве энергетического топлива.

5. Результаты обогащения в суспензии, как в гравитационном поле в сепараторе нашей конструкции, так и в центробежном — в гидроциклонах — оказываются вполне удовлетворительными и не могут быть достигнуты никакими другими методами, за исключением обогащения в жидкостях высокого удельного веса в центрифугах.

6. Повышение спекаемости слабоспекающихся углей путем глубокого их обогащения и, следовательно, концентрации блестящих составляющих в обогащенном угле вполне возможно.

Однако такое обогащение осуществимо лишь в отношении углей размером крупнее 1 мм. Как будет видно из глав IX—XIII, уголь мельче 1 мм можно также обогатить по петрографическому признаку.

В главах IX—XIII излагаются результаты исследований процесса флотации с целью его применения для разделения угля на продукты с преимущественным содержанием тех или других петрографических компонентов. Флотация является чрезвычайно сложным процессом, на результаты которого влияют многие факторы. Однако основную физико-химическую фазу процесса флотации количественно определяют смачиваемость поверхности флотируемого вещества и влияние на нее адсорбционных слоев флотореагентов. Смачиваемость может быть оценена краевым углом. Рядом работ, в том числе и наших, отмечено различие в величине краевого угла смачивания блестящих и матовых ингредиентов угля. Следовательно, флотируемость блестящих разновидностей угля должна отличаться от флотируемости матовых. Путем применения соответствующих собирателей, а также подавителей можно увеличить разрыв в смачиваемости петрографических ингредиентов. Однако в этом вопросе имелось много противоречий, объясняемых тем, что взятые исследователями

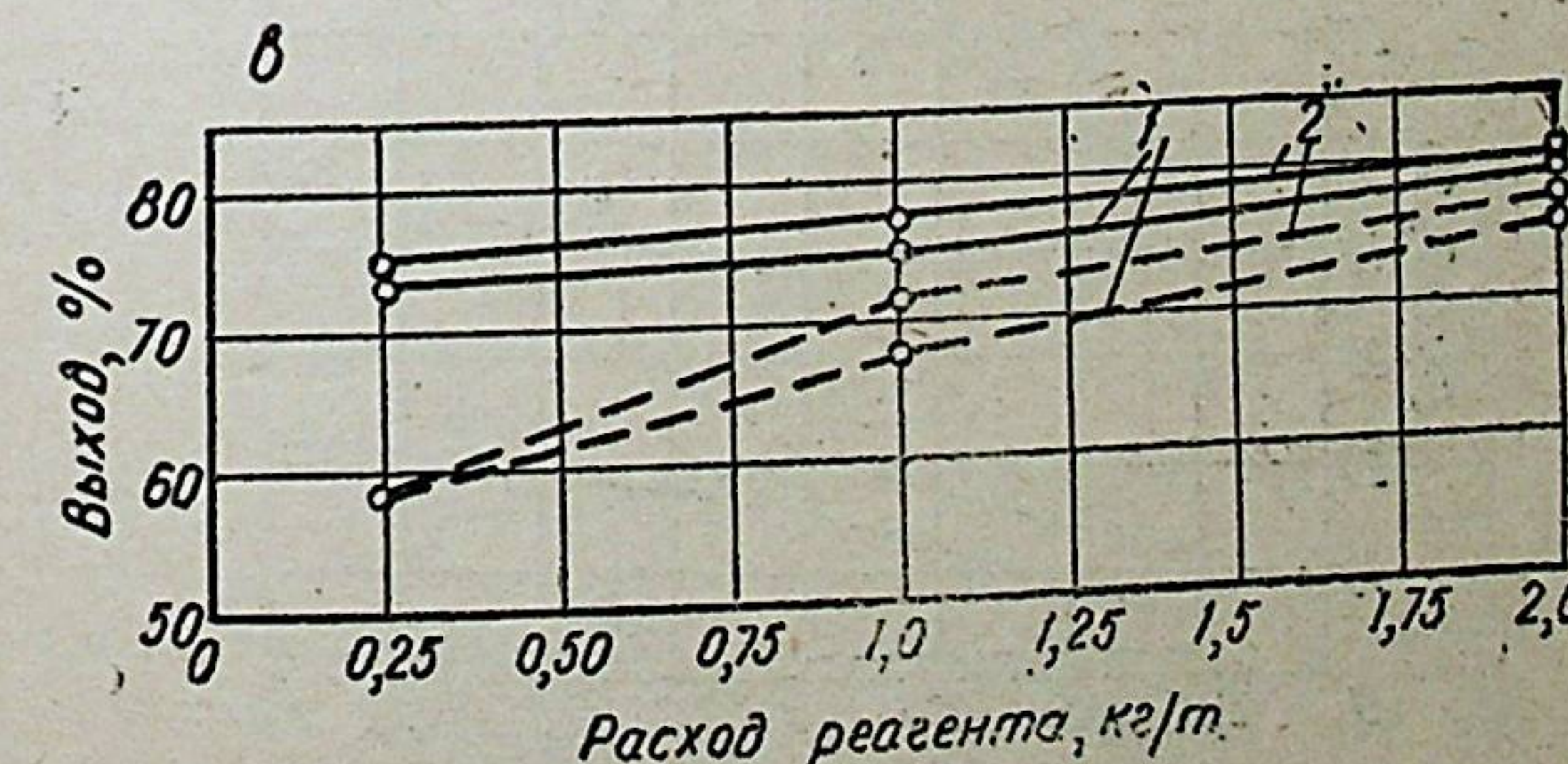
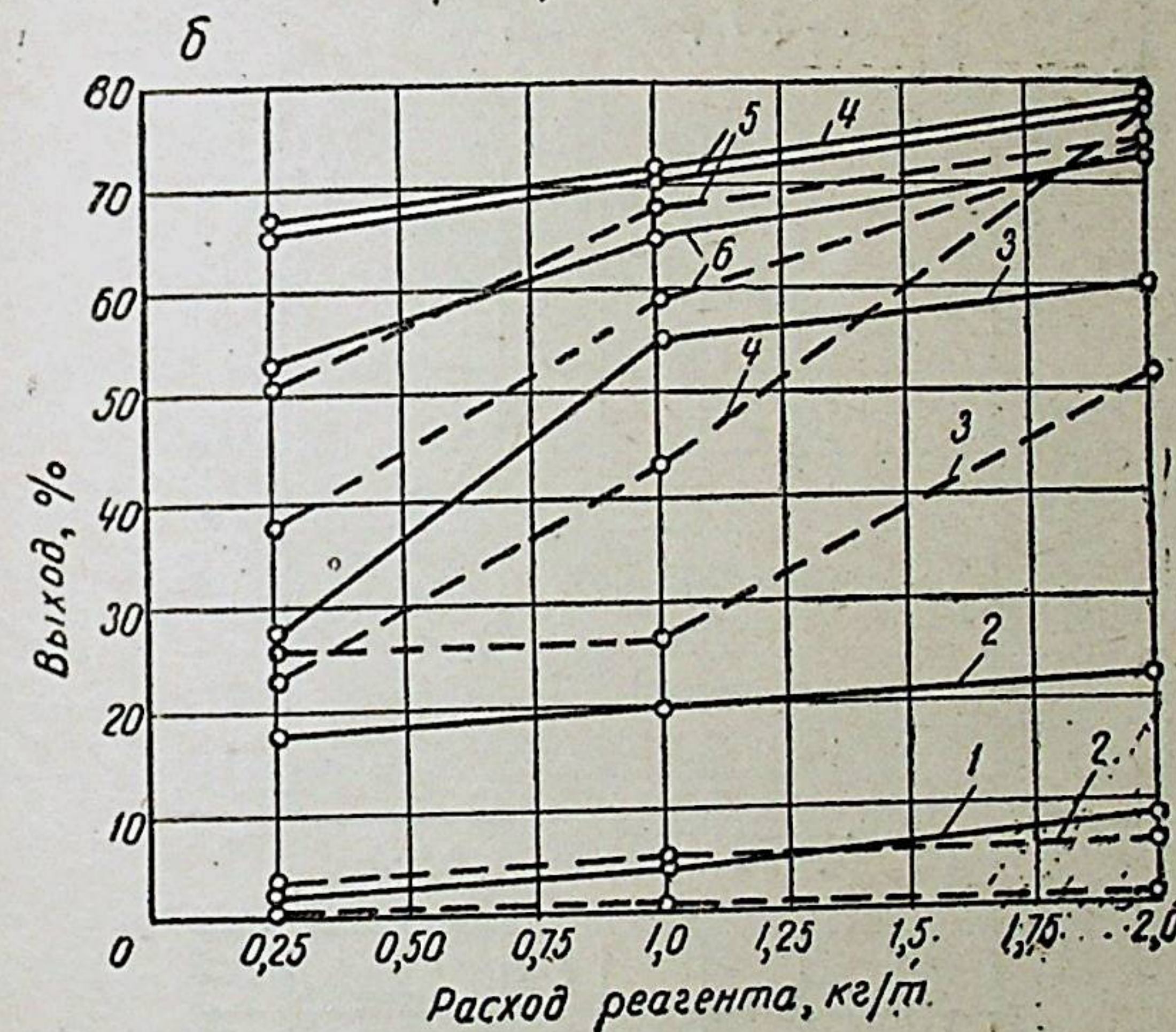


Рис. 1. График выхода всплывшего продукта при флотации блестящих и матовых компонентов угля ш. им. Сталина, пл. Горелый:

а. 1 — бензол; 2 — толуол; 3 — этилбензол; 4 — изопропилбензол; 5 — монотретичный бутилбензол; 6 — моновторичный бутилбензол.
 б. 1 — ксилол; 2 — диэтилбензол; 3 — диизопропилбензол; 4 — изопропилвторичный бутилбензол; 5 — дивторичный бутилбензол; 6 — изопропилтретичный бутилбензол.
 в. 1 — триизопропилбензол; 2 — изопропилдивторичный бутилбензол; — — — блестящий уголь, - - - матовый уголь.

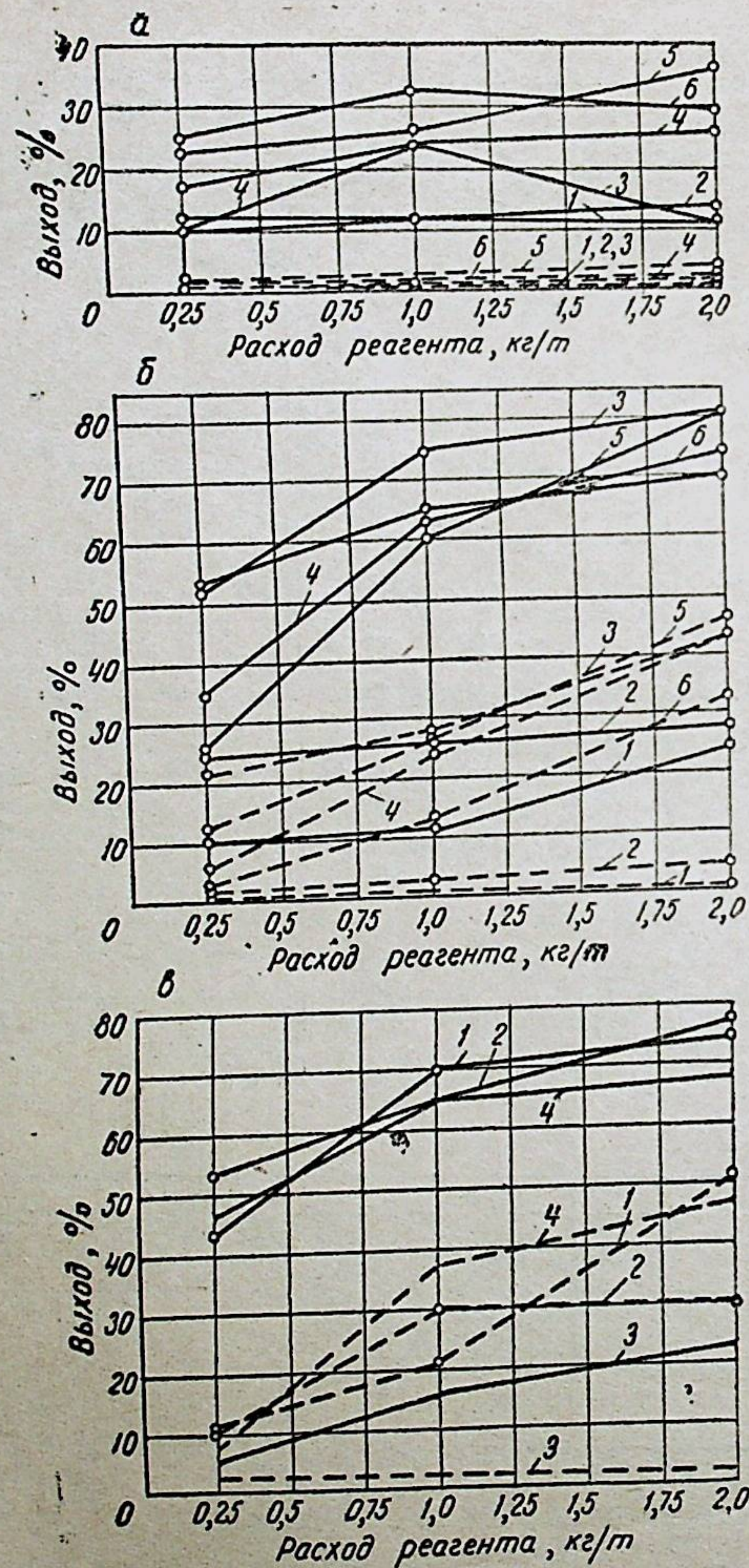


Рис. 2. График выхода всплывшего продукта при флотации блестящих и матовых компонентов угля ш. им. Сталина, пл. Мощный.
 а. 1 — бензол; 2 — толуол; 3 — этилбензол; 4 — изопропилбензол; 5 — монотретичный бутилбензол; 6 — моновторичный бутилбензол.
 б. 1 — ксилол; 2 — диэтилбензол; 3 — диизопропилбензол; 4 — изопропилвторичный бутилбензол; 5 — дивторичный бутилбензол; 6 — изопропилтретичный бутилбензол.
 в. 1 — триизопропилбензол; 2 — изопропилдивторичный бутилбензол; 3 — мезитилен; 4 — триэтилбензол.
 — блестящий уголь, - - - матовый уголь.

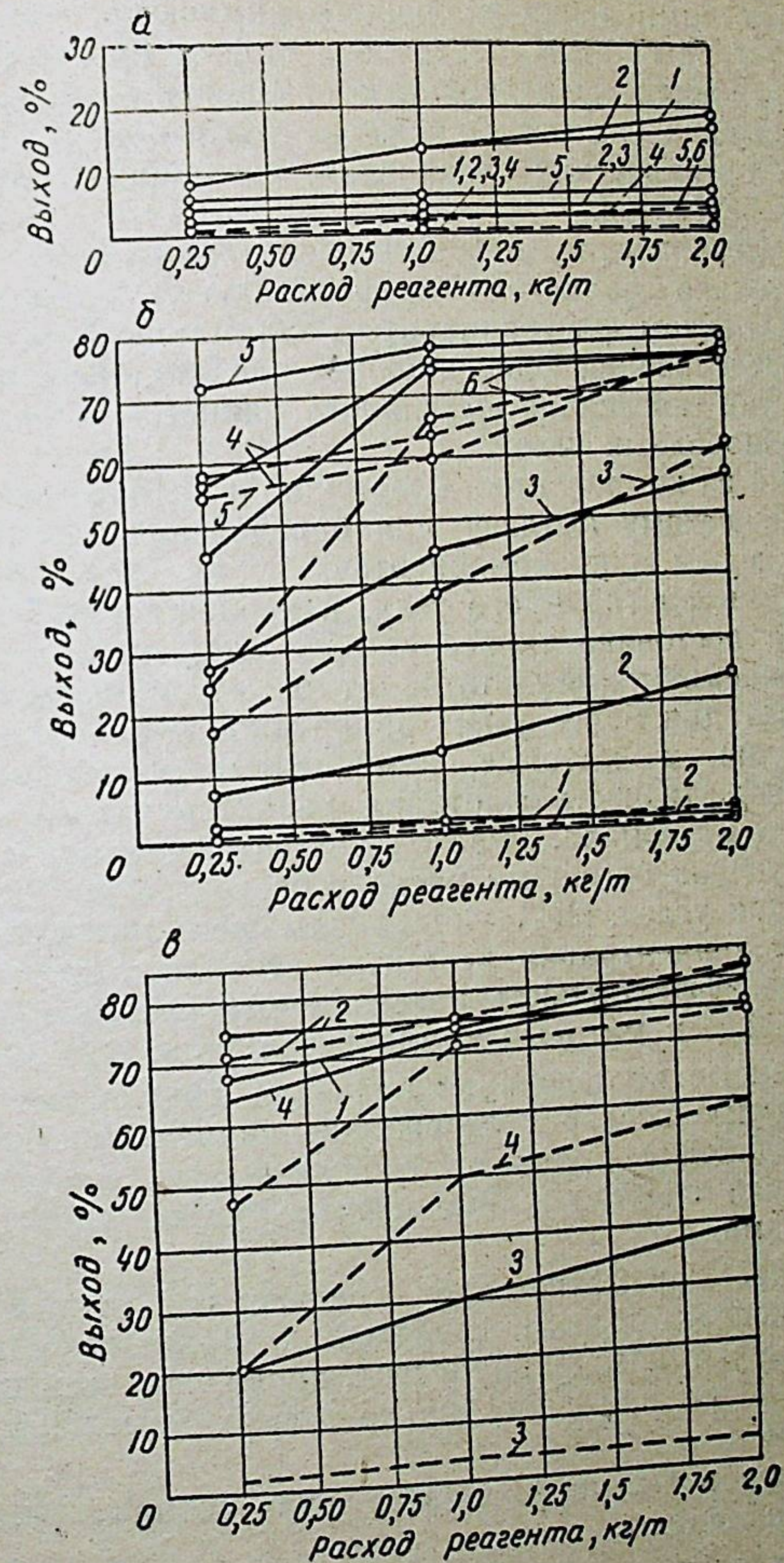


Рис. 3. График выхода всплывшего продукта при флотации блестящих и матовых компонентов угля ш. Зиминка, пл. IV Внутренний.
 а. 1 — бензол; 2 — толуол; 3 — этилбензол; 4 — изопропилбензол; 5 — монотретичный бутилбензол; 6 — моновторичный бутилбензол.
 б. 1 — ксилол; 2 — диэтилбензол; 3 — диизопропилбензол; 4 — изопропилвторичный бутилбензол; 5 — дивторичный бутилбензол; 6 — изопропилтретичный бутилбензол.
 в. 1 — триизопропилбензол; 2 — изопропилдивторичный бутилбензол; 3 — мезитилен; 4 — триэтилбензол.
 — блестящий уголь, - - - матовый уголь.

реагенты, хотя и одинаковые, обладали различными флотационными свойствами ввиду различного химического состава.

Поэтому нами была поставлена задача проверить при различных условиях флотационную активность выделенных из угля блестящих и матовых компонентов в присутствии индивидуальных органических соединений, входящих в состав общепринятых реагентов.

Для установления действия вспенивателя и выявления влияния только собирателя на флотацию угля опыты проводились в беспенном флотоаппарате Голлиманда-Классена.

Для исследования флотационных свойств блестящих и матовых частиц последние выделялись пинцетом из петрографически неоднородных углей.

Каждый из компонентов, блестящий и матовый, подвергались микроскопическому анализу для определения процентного содержания в нем микрокомпонентов.

Крупность флотуемого угля, как блестящего, так и матового, была постоянна (класс 1—0,25 мм), причем при выявлении зависимости результатов от размеров частиц производилась флотация более узких по крупности классов.

Блестящие и матовые компоненты флотировались отдельно. Эффективность флотации характеризовалась выходом всплывшего материала. Расход реагента менялся в пределах, соответствующих обычному расходу реагентов при промышленной флотации углей. По выходу всплывшего материала при определенной концентрации реагентов строились кривые, характеризующие эффективность применяемого реагента при флотации блестящих и матовых компонентов угля.

Проведенные исследования показали следующее:

1. Полярные кислородсодержащие индивидуальные органические соединения проявляют собирательные свойства только при флотации блестящих компонентов углей средней стадии метаморфизма.

2. Легкие ароматические соединения практически не обладают собирательными свойствами. Более тяжелые, такие как, например, триизопропилбензол, проявляют высокие собирательные свойства при флотации не только блестящих, но и матовых углей.

3. Углеводороды парафинового ряда собирательными свойствами не обладают.

4. Непредельные углеводороды являются собирателями, особенно высокоэффективными являются полимерные соединения пропилена, бутилена (смесь ди-, три- и тетраметров).

Более детальные исследования собирательных свойств ароматических соединений (см. на стр. 19, 20 и 21 рис. 1, 2 и 3) показали следующее:

1. Как бензол, так и его однозамещенные алкильные гомологи практически собирательными свойствами не обладают.

2. Двухзамещенные алкильные гомологи бензола, содержащие до 6 атомов углерода в боковых цепях, также являются нефлотоактивными реагентами; однако соединения, содержащие от шести и более атомов углерода в боковых цепях, проявляют заметную флотоактивность, причем матовые разновидности углей средней стадии метаморфизма флотируются в присутствии этих реагентов значительно энергичнее, чем угли более высокой степени метаморфизма.

3. Трехзамещенные алкильные гомологи бензола при наличии шести атомов углерода в боковых цепях проявляют весьма заметную флотоактивность. В случае большего содержания атомов углерода (алкильных групп) в боковых цепях флотоактивность реагента резко повышается, особенно при флотации углей средней степени метаморфизма.

4. Матовые и блестящие компоненты более метаморфизованных углей, как например, угля пл. Мощного шахты им. Сталина, флотируются с различной степенью интенсивности даже при

пользовании наиболее активным собирателем — триизопропилбензолом. Так, при расходе реагента в 1 кг/т выход всплывшего

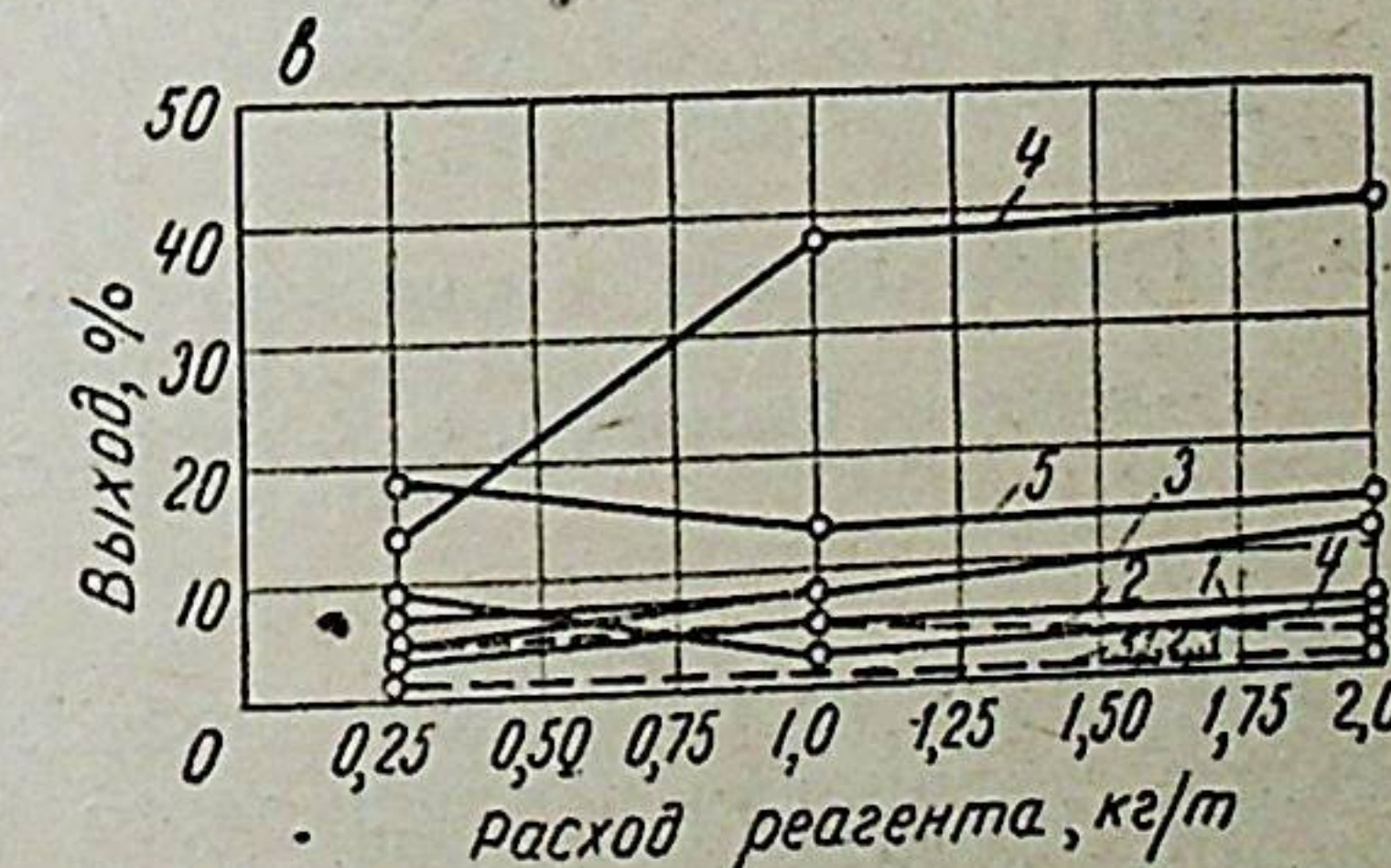
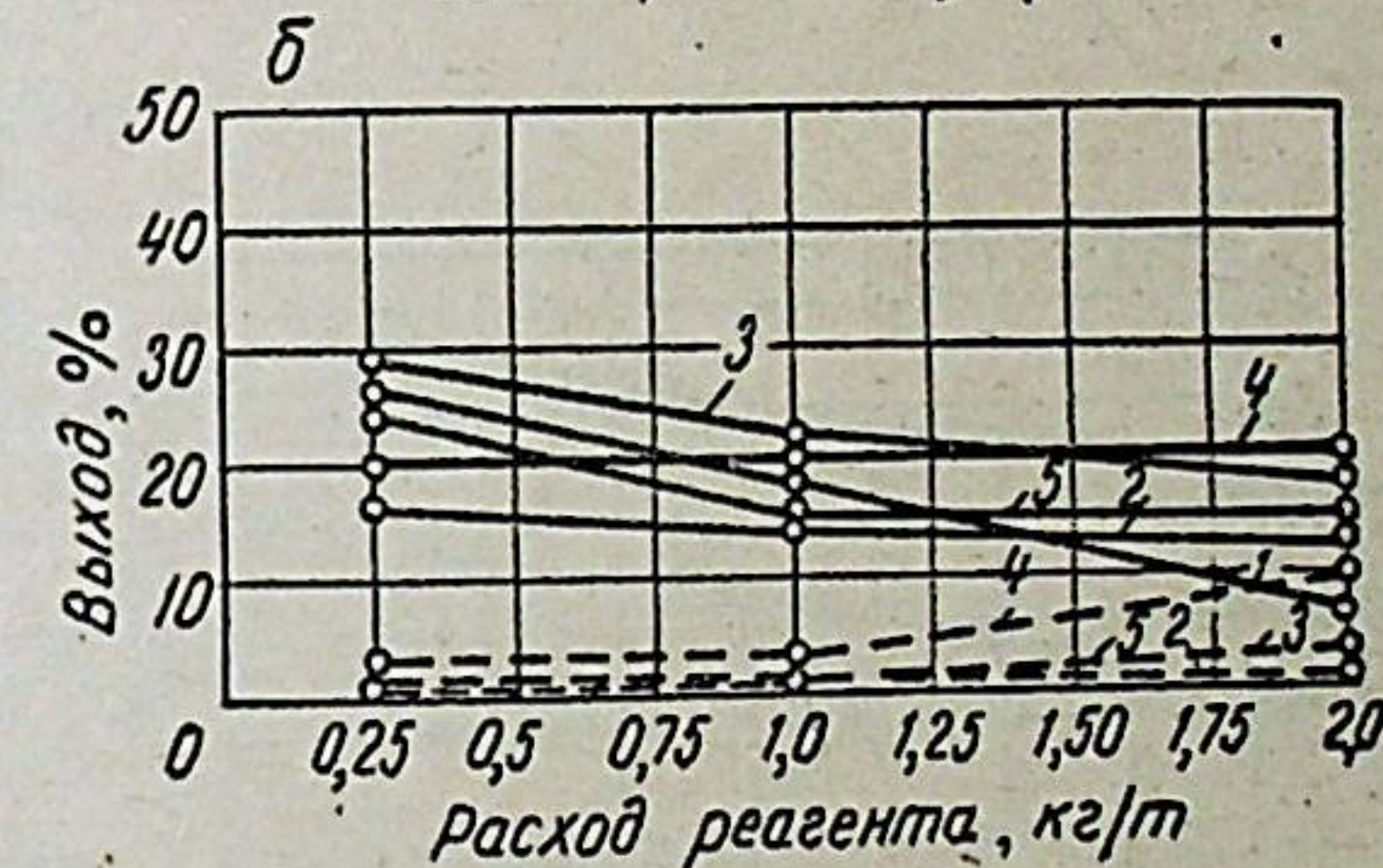
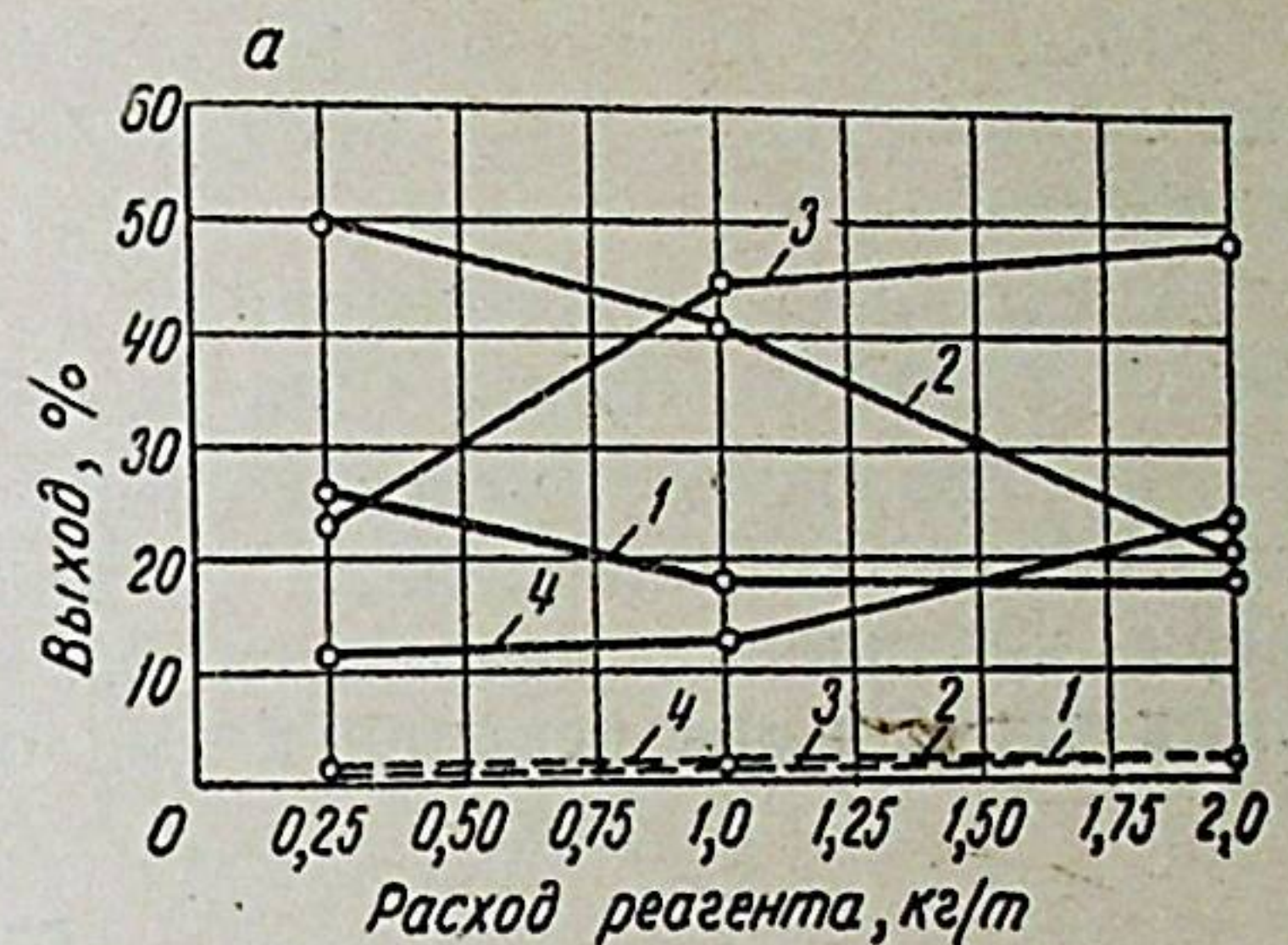


Рис. 4. График выхода всплывшего продукта при флотации блестящих и матовых компонентов угля.

а. ш. им. Сталина, пл. Мощный. 1 — изооктан; 2 — авиабензин; 3 — декалин; 4 — циклогексан.

б. ш. им. Сталина, пл. Горелый. 1 — н-гексан; 2 — н-гептан; 3 — изооктан; 4 — декалин; 5 — фракция 25—100° из каталитического крекингбензина.

в. ш. Зиминка, пл. IV Внутренний. 1 — н-гексан; 2 — н-гептан; 3 — изооктан; 4 — декалин; 5 — фракция 25—100° из каталитического крекингбензина.

— блестящий уголь, --- матовый уголь.

продукта при флотации матового компонента составляет 20%, а блестящего — 70%.

Блестящие и матовые компоненты угля пласта IV Внутреннего флотируются одинаково хорошо в присутствии триизопропилбензола.

5. Сланцевые частицы практически не всплывают (всплывает 0,26%) при применении даже триизопропилбензола.

Из парафиновых углеводородов были испытаны гексан, гептан, изооктан (насыщенные соединения) и изооктилен и полимеры пропилена (ненасыщенные соединения). Из нафтенов были опробованы декалин и циклогексан.

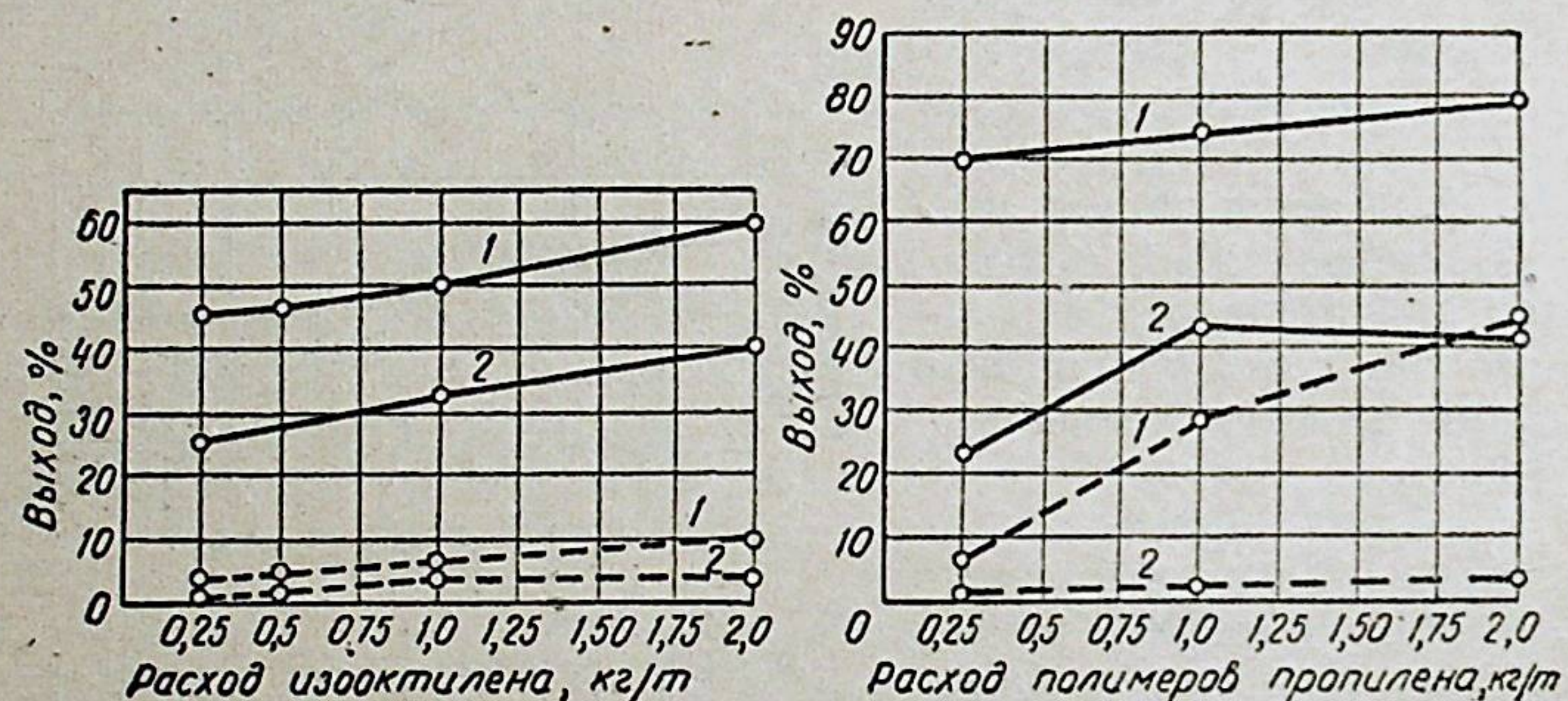


Рис. 5. График выхода всплывшего продукта при флотации блестящих и матовых компонентов угля.
1 — пласт IV Внутренний, ш. Зиминка; 2 — пласт Мощный, ш. Сталина.
— блестящий уголь, --- матовый уголь.

Как видно из графиков, изображенных на рис. 4 и 5, насыщенные соединения парафинового ряда не обладают собирательными свойствами, а ненасыщенные проявляют их весьма заметно. Циклогексан собирательными свойствами не обладает.

Эти опыты показали, что эффективность таких общепринятых собирателей, как керосин, зависит от их группового состава.

Поскольку в последнее время появились утверждения (В. И. Классен и др.), что алифатические спирты являются не только вспенивателями, но и собирателями, нами было проверено действие спиртов — от этилового до децилового при флотации в беспенном аппарате петрографических компонентов углей различной стадии метаморфизма (пл. Мощного, шахта им. Сталина, и пласта IV Внутреннего, шахта Зиминка), с расходом реагента 0,5; 1,0 и 2 кг/т.

На рис. 6 показаны кривые выходов всплывшего продукта при расходе реагента 1 кг/т.

Проведенные опыты показали:

1. В случае флотации блестящих и матовых компонентов высокометаморфизованных углей спирты собирательных свойств не проявляют.

2. При флотации блестящих и матовых компонентов углей коксовой стадии метаморфизма спирты проявляют собирательные свойства, причем наиболее активное действие оказывают гептиловый и гексиловый спирты.

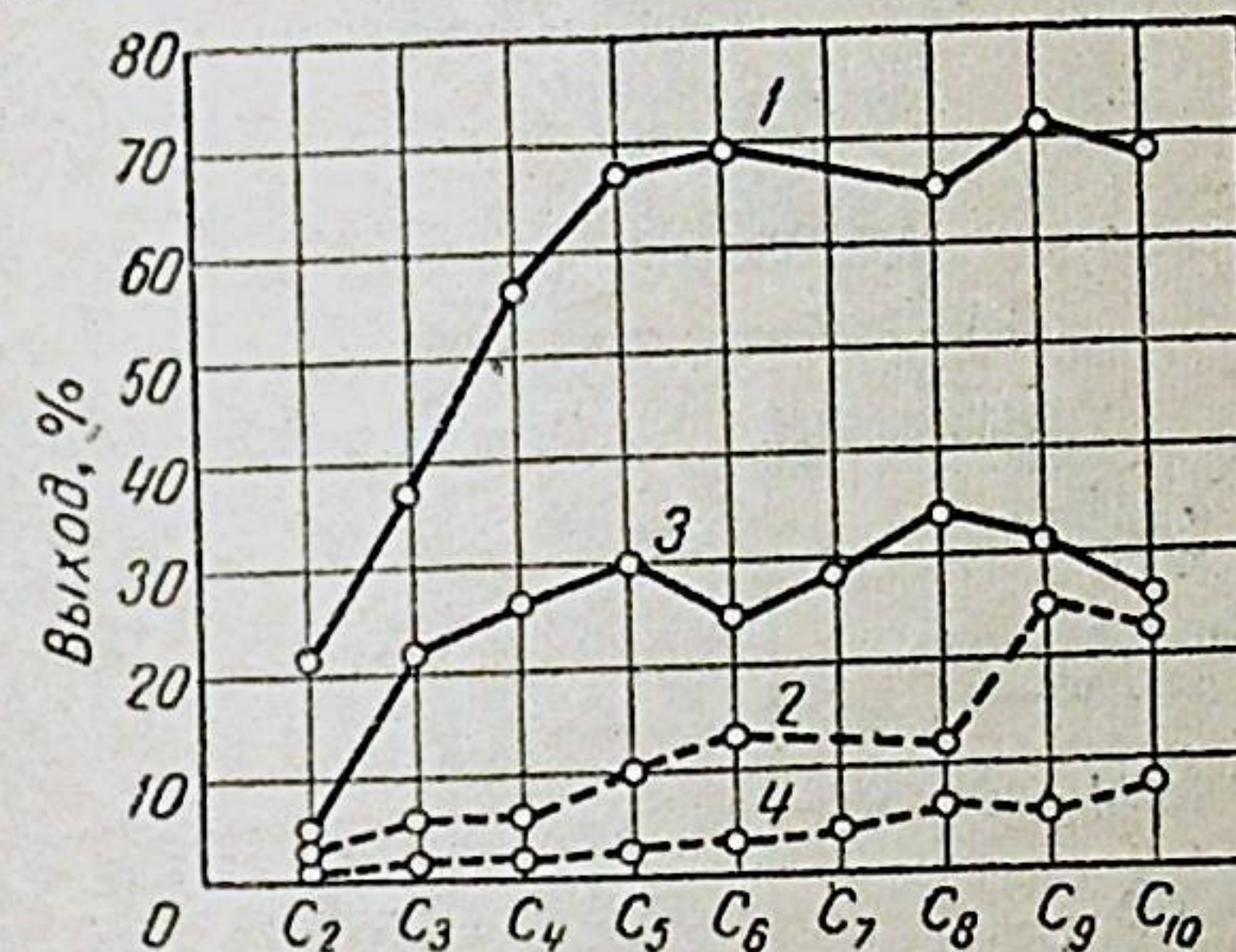


Рис. 6. График выхода всплывшего продукта при флотации блестящих и матовых компонентов угля в присутствии алифатических спиртов (расход 1 кг/т).
1 — блестящий уголь (пл. IV Внутренний, ш. Зиминка); 2 — матовый уголь (пл. IV Внутренний, ш. Зиминка); 3 — блестящий уголь (пл. Мощный, ш. им. Сталина); 4 — матовый уголь (пл. Мощный, ш. им. Сталина).

Далее, в диссертации показано, что совместное применение двух реагентов — высокоэффективного, но малорастворимого в воде и малоэффективного, но являющегося растворителем по отношению к первому, весьма благоприятно сказывается на результатах флотации и способствует селективности процесса. По-видимому, применение второго реагента способствует диспергированию малорастворимого аполярного собирателя.

При исследовании влияния условий флотации углей с целью разделения их петрографических компонентов было установлено следующее:

1. На селективность флотации оказывает влияние концентрация водородных ионов в среде. Нами было установлено, что максимум выхода блестящих компонентов имеет место при pH, равном 7,2—7,8%.

2. Добавление неорганических электролитов не оказывает влияния на селективность флотации.

3. Наиболее легко селективной флотации подвергаются частицы угля размером 1—0,5 мм.
4. Добавление в небольшом, строго дозированном количестве депрессоров (крахмал, танин), способствуют процессу флотации.

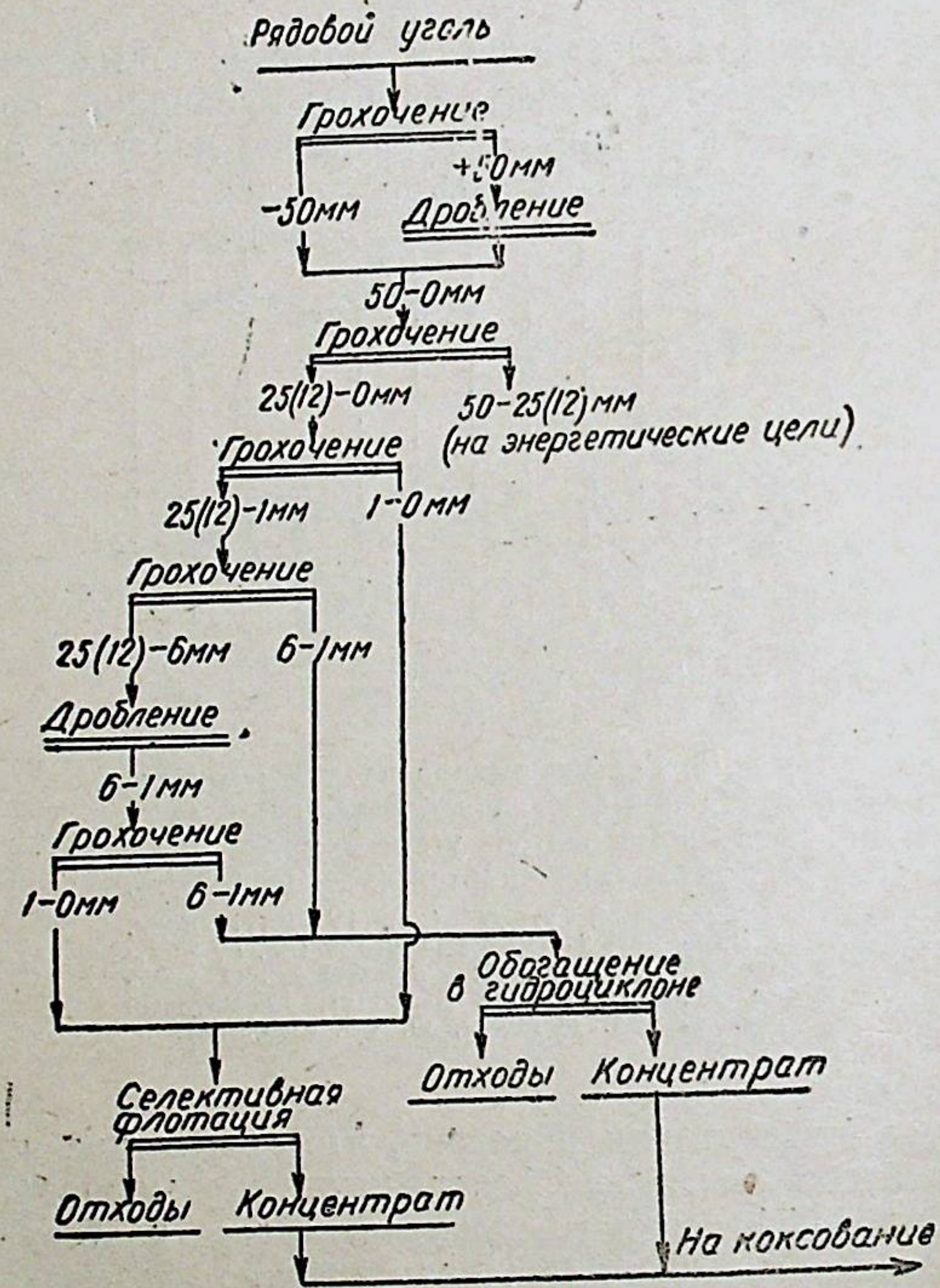


Рис. 7. Схема глубокого обогащения слабоспекающихся углей.

На основании исследований условий флотации с целью предпочтительного перевода блестящих компонентов угля во всплывший продукт были проведены опыты по флотации смеси петрографических компонентов в пенном аппарате и отсева (класс 1—0 мм) угля пласта Мощного, ш. им. Ворошилова. Характеристика этого отсева следующая: зольность — 10,5%, содержание блестящих компонентов витринита — 30,7%, спекаемость (всплываемость 15 мм). Флотация проводилась в лабораторном флотоаппарате механического типа.

Таблица 4

Результаты флотации отсева угля пл. Мощного, ш. им. Ворошилова, класс 1—0 мм

Показатели обогащения	Полномер-остаток с постоянным расходом танина 15 г/т		Смесь изоктана (70%) и полимер-остатка (30%), флюла 300 г/т							
	400	500	700	800						
Выход, %	39,14	46,87	76,11	80,64	85,12	16,86	32,72	42,75	55,44	73,51
Зола, %	4,47	4,38	4,91	5,09	5,58	4,25	4,03	4,03	4,21	4,49
Содержание блестящих компонентов, %	44,0	37,50	32,75	30,50	33,50	50,75	49,25	46,25	45,50	41,50
Извлечение блестящих компонентов, %	55,8	56,80	80,4	80,00	91,50	27,60	51,00	63,60	81,80	98,00
Спекаемость, мм (индекс всплываемости)	43,0	31,00	30,0	29,00	21,00	39,00	40,00	37,00	36,00	33,00
расход собирателя, г/т										
	400	500	700	800	900	400	500	700	800	900
Концентрат										
Выход, %	60,86	53,13	29,89	19,36	14,88	83,14	67,28	57,25	44,56	26,49
Зола, %	14,97	15,96	28,39	33,45	36,04	11,90	13,11	15,00	18,98	25,43
Содержание матовых компонентов, %	77,80	75,00	75,20	67,00	86,60	73,00	78,00	81,00	86,50	99,5
Отходы										

Из табл. 4 (см. на обороте) видно, что содержание витринита возрастает с 30% в исходном до 50% в концентрате. Это обуславливает повышение вспучиваемости с 15 мм до 40 мм. Выход концентрата составляет 33—35%, при этом содержание матовых компонентов в хвостах 78%.

Таким образом, нами установлено, что путем флотации невозможно полностью разделить блестящие и матовые компоненты слабоспекающихся углей, но этого и не требуется. Для улучшения спекаемости вполне достаточна достигаемая концентрация блестящих компонентов.

В главе XIV приведены результаты глубокого обогащения и коксования слабоспекающихся углей на полупромышленной установке ВУХИНа. Для испытания нами были отобраны три пробы от углей пл. Мощного, выдаваемых шахтами 4—6, Зиминка и Суртаиха и одна проба рядового угля СС на ш. 3—3-бис. Эти угли подвергались глубокому обогащению с последующим коксованием шихты Нижне-Тагильского меткомбината, в которую входил полученный концентрат.

На основании проведенных исследований схема предварительной подготовки (см. рис. 7 на стр. 26) была принята следующая: рядовой уголь сортировался на два класса: +50 мм и —50 мм. Более крупный уголь дробился в зубчатой дробилке (он может дробиться также в барабанной дробилке Григорьева-Дремайло) до —50 мм и присоединялся к классу 50—0 мм. Уголь, дробленный до —50 мм, сортировался на сите 25 мм или 12 мм (в зависимости от его качества). Исследуемые угли сортировались на сите 12 мм. Отсев 12—0 мм делился на два класса: 12—1 мм и 1—0 мм, причем первый обогащался в гидроциклоне по низкому удельному весу (1,3—1,33), а класс 1—0 мм подвергался селективной флотации. После обогащения был получен

Таблица 5

Результаты полупромышленного обогащения слабоспекающихся углей

Наименование угля	Размер угля мм	До обогащения			После обогащения				
		зола, %	содержание витринита, %	пластслои мм	Выход концентрата, %		содержание витринита, %	зола, мм	пластслои мм
					к отс.ву	к рядовому углю			
Пласт Мощный, ш. 4—6	12—0	6,57	27,8	0	41,16	22,2	36,7	2,94	Намеч.
Пласт Мощный, ш. Зиминка	12—0	7,37	32,6	Намеч.	66,43	30,6	38,0	3,27	8
Пласт Мощный, ш. Суртаиха	12—0	10,13	27,6	0	58,67	10,58	34,0	3,46	Намеч.
Товарный уголь СС, ш. 3—3-бис	12—0	21,38	—	0	38,24	21,93	—	3,55	Намеч.

концентрат, характеристика которого приведена в табл. 5. В табл. 6 приведен баланс продуктов обогащения и их качество.

Таблица 6

Баланс продуктов обогащения и их качество

Наименование угля	Назначение продуктов обогащения угля	Класс мм	Выход конечного продукта, %	Содержание зольности, %	Пластометрич. показатели, мм		Содержание витринита, %
					х	у	
Пласт Мощный, ш. 4—6	Для коксования	6—0	22,20	2,94	17	Намеч.	36,7
	Для энергетических целей	50—12	46,06	5,16			—
	То же	6—0 Рядовой	31,74 100,00	9,40 6,29	14	0	— 24,0
Пласт Мощный, ш. Зиминка	Для коксования	6—0	30,61	3,27	34	8	35,0
	Для энергетических целей	50—12	53,91	5,52	33	0	22,8
	То же	6—0 Рядовой	15,47 100,00	14,20 6,20	— 28	— Намеч.	— 27,7
Пласт Мощный, ш. Суртаиха	Для коксования	6—0	10,58	3,46	31	Намеч.	34,0
	Для энергетических целей	50—12	81,97	5,20	28	0	23,6
	То же	6—0 Рядовой	7,45 100,00	21,00 6,95	— 25	— 0	— 25,0
Пласт Мощный, ш. 3—3-бис	Для коксования	6—0	21,93	3,55	24	Намеч.	—
	Для энергетических целей	50—12	42,65	23,56	11	0	—
	То же	6—0 Рядовой	35,42 100,00	21,60 21,67	— 14	— 0	— —

Опытное коксование производилось на полузаводской установке ВУХИНа. Шихта для всех опытов состояла из 47% КЖ14; 23% 1Ж26; 10% К₂ и 20% СС. Слабоспекающиеся угли вводились в шихту в рядовом виде, а затем в виде концентрата, полученного путем глубокого обогащения. Для сравнения коксовалась та же шихта, в которой угли СС заменены были 20% углей марки К₂. Результаты коксований приведены в табл. 7.

Проведенные исследования показали возможность ввода в коксовую шихту 20% слабоспекающихся углей, даже таких, как обогащенный товарный уголь ш. 3—3-бис, с сохранением вполне удовлетворительных показателей качества кокса при условии глубокого обогащения отсева (менее 25 мм или менее 12 мм) дробленного до 50 мм рядового угля. Выход концентрата от рядового угля составляет 22—30%. Одновременно получается грохоченный сухой уголь размером 50—12 мм в количестве около 50%, содержащий от 5 до 23% золы и отходы обогащения зольностью от 12 до 25%, которые после обезвожи-

Таблица 7
 Качество кокса из шихты с участием рядовых и обогащенных слабоспекающихся углей.

Показатели	Состав шихты									
	КЖ14—43% IЖ26—27% K ₂ —30%		плат Мощный СС, ш. 4—6		плат Мощный СС, ш. Зиминка		плат Мощный СС, ш. Сурганха.		товарный уголь СС, ш. 3—3-бис	
	необогаченный	обогащенный	необогаченный	обогащенный	необогаченный	обогащенный	необогаченный	обогащенный	необогаченный	обогащенный
Ш и х т а										
Зольность, %	8,54	7,24	8,27	7,28	8,44	7,34	11,51	7,91		
Летучие, %	25,84	24,40	25,33	25,23	27,96	24,93	26,98	23,15		
Пластинчатый слой, мм	19	18	16	19	17	19	17	17		
Содержание класса +3 мм	2,0	2,0	1,6	1,8	2,1	1,8	3,5	3,0		
К о к с										
Зольность, %	11,17	9,77	10,27	9,51	10,28	9,94	13,20	9,97		
Барабанная проба:										
остаток, кг	320	318	299	314	307	312	282	311		
класс 10—0 мм в провале, кг	45,6	52	55	53	60	56	64,0	52		
Класс 40—80, кг	54,1	62,5	44,6	60,4	49,9	61,3	47,9	57,5		
Р е ж и м к о к с о в а н и я										
Период коксования: ч. м.	14—30	14—20	14—30	14—30	14—10	14—35	14—45	14—30		
Температура в центре пирога, град.	950	950	950	950	950	950	960	950		

вания и сушки, могут быть применены, как энергетическое топливо для котельных, потребляющих пылевидное топливо.

Глава XV посвящена рассмотрению народно-хозяйственного значения применения для коксования глубокообогащенных слабоспекающихся петрографически неоднородных углей Кузбасса.

Обосновано, на основании анализа структуры поставки углей для коксования и качества металлургического кокса на Востоке СССР, что предлагаемые нами мероприятия по глубокому обогащению слабоспекающихся петрографически неоднородных углей вытекают из создавшегося, крайне неудовлетворительного, положения с добычей углей для коксования и роста производственных мощностей доменных печей.

Рассматривая ресурсы слабоспекающихся петрографически неоднородных углей Кузбасса, нами показано, что только по Прокопьевско-Киселевскому району можно направить для глубокого обогащения около 5 млн. т в год, что позволит получить 1 млн. тонн концентрата повышенной спекаемости с зольностью, не превышающей 3,5—4%, сортированный уголь для механизированных топок в количестве 2,5—3 млн. тонн и отходы с золой 15—20% для приготовления пылевидного топлива. Вторым источником поставки для глубокого обогащения могут быть угли Анжеро-Судженского района. Нами подсчитано, что 4,5—5 млн. таких углей также могут быть направлены для этой цели. Выход низкозольного концентрата повышенной спекаемости составляет 62—65%, что даст дополнительно 1 млн. тонн угля повышенного качества в год.

Произведенные в диссертации экономические расчеты показали следующее:

1. Для получения 2 млн. т низкозольного угля марки К₂ необходимо соорудить шахту соответствующей производительности. Если направить энергетический уголь в указанном количестве для коксования, то эквивалентное количество угля для энергетических целей можно получить с разрезов. Поскольку разница между капитальными затратами на сооружение глубоких шахт и разрезов, по данным Центрогипрошахта, составляет 8 руб. на тонну, то общая экономия составит по этой статье 16 млн. руб. (все расчеты в новых ценах). Экономия на эксплуатационных затратах выразится в сумме 10 млн. руб.

2. Вследствие ввода в шихту глубоко обогащенного угля, зольность кокса снизится примерно на 1,5%, что значительно повысит эффективность доменного процесса — снизится расход кокса и повысится производительность доменных печей. Подсчеты, приведенные в диссертации, показали, что в результате снижения расхода кокса и повышения производительности доменных печей уменьшение капитальных затрат на сооружение доменных и коксовых печей, а также вспомогательных цехов

составляет 115 млн. руб. На эксплуатационных затратах по этим объектам экономия составит около 18 млн. руб. в год.

Принимая капитальные затраты на сооружение двух районных фабрик для глубокого обогащения угля по предложенной схеме в 30 млн. рублей и эксплуатационные расходы в 4,5 млн. руб. в год, общий экономический эффект от предлагаемых мероприятий составит по капитальным затратам 110 млн. рублей и эксплуатационным расходам около 23 млн. руб. в год.

Таким образом, автором диссертации выявлены основные факторы и условия, позволяющие осуществить обогащение некоторых энергетических углей с целью улучшения их технологических свойств и применения в дальнейшем для коксования.

Полученные результаты, в сочетании с уже известными данными, позволили установить ряд принципиальных положений, теоретических и технологических, которые легли в основу схемы, предложенной автором для глубокого обогащения слабоспекающихся петрографически неоднородных углей Кузбасса.

Показано, что при осуществлении предложенной схемы обогащения углей марок СС и ОС Прокопьевско-Киселевского и Анжеро-Судженского района методами, разработанными автором, можно получить до 2 млн. т низкосольного угля ($A^c - 3,5-5\%$) повышенной спекаемости, который можно отнести к группе K_2 . Наряду с этим будет получено до 2,5 млн. т сортированного угля, являющегося первосортным энергетическим топливом. Кроме того, будут получены низкосольные отходы (1,5 млн. т) и промпродукт (1,5 млн. т), которые после сушки также могут быть использованы для энергетических целей.

Проведенные полужаводские коксования показали, что кокс, изготовленный из шихт, содержащих 20% концентрата, полученного в результате глубокого обогащения слабоспекающихся углей, значительно лучше по качеству (остаток в барабане, содержание классов 80—60 мм и 10—0 мм в провале, внешний вид), чем из шихты, содержащей рядовой уголь марки СС.

Предлагаемое в диссертации глубокое обогащение петрографически неоднородных слабоспекающихся углей Прокопьевско-Киселевского и Анжеро-Судженского районов даст весьма значительный экономический эффект и имеет большое народнохозяйственное значение.

Основное содержание диссертации изложено в 17 статьях и одной книге в следующих изданиях:

1. Монография: «Обогащение углей в тяжелых средах». Metallurgizdat, 1959, стр. 420.
2. Сборник «Из опыта обогащения угля», Госгортехиздат, 1960 г., стр. 3—26.
3. Сборники ВУХИНа, Metallurgizdat, 1957 г., стр. 36—64, 1959 г., стр. 67—89; стр. 52—66; стр. 107—121.
4. Сборник трудов совещания по флотации, 1954 г., стр. 157—158; 1956 г., стр. 110—121.
5. Сборник «Химия и технология горючих сланцев», Госгортехиздат, 1960, стр. 102—117.
6. Сборник трудов УФ АК Наук СССР, 1960 г., стр. 111—124.
7. Кокс и Химия, 1940 г., № 6, стр. 9—13; 1941 г., № 5, стр. 6—13; 1955 г., № 2, стр. 10—18; 1957 г., № 3, стр. 6—10; № 9, стр. 8—14; стр. 8—14; 1958 г., № 11, стр. 8—11; 1959 г., № 12, стр. 11—14.
8. Сталь, 1951 г. № 1, стр. 18—28.
9. Авторское свидетельство № 118433, 1958 г.