

Б
А-11

Государственный Комитет по топливной промышленности при Госплане СССР

ИНСТИТУТ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

На правах рукописи

Инженер О. Л. БРУК

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ
ПРОТИВОТОЧНОЙ ПРОМЫВКИ УГОЛЬНЫХ И ДРУГИХ
НЕРАСТВОРИМЫХ ОСАДКОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА — 1964

Государственный Комитет по топливной промышленности при Госплане СССР

ИНСТИТУТ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

На правах рукописи

Инженер О. Л. БРУК

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ
ПРОТИВОТОЧНОЙ ПРОМЫВКИ УГОЛЬНЫХ И ДРУГИХ
НЕРАСТВОРИМЫХ ОСАДКОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА — 1964

Программой КПСС, принятой XXII съездом партии, предусматривается дальнейшее развитие топливной и металлургической промышленности. С этим связано развитие и внедрение новых методов обогащения углей с целью получения высококачественного металлургического топлива, малозольных концентратов для производства редких элементов и сверхчистых концентратов для электродной промышленности. К новым эффективным способам обогащения относятся методы разделения полезных ископаемых в среде тяжелых жидкостей с применением сепараторов, отсадочных машин, гидроциклонов и центрифуг.

В последние годы в Советском Союзе внедрен центробежный метод глубокого обогащения углей в тяжелой жидкости; ведутся работы по внедрению шахтных гидротранспортных установок с применением тяжелых жидкостей. Проводятся опытные работы в области флотации углей в соляных растворах и магнитогидродинамической сепарации угля и других полезных ископаемых с применением водных растворов электролитов.

При осуществлении этих процессов возникает необходимость промывки угля или продуктов его обогащения от солей, входящих в состав тяжелой жидкости. Поскольку схемы обогащения с применением тяжелых жидкостей обычно являются замкнутыми, экономика производства в значительной степени зависит от затрат средств на регенерацию промывных жидкостей. Сокращение же этих затрат достигается применением высокоэффективных методов противоточной промывки осадков.

Разработка и усовершенствование аппаратов, предназначенных для осуществления противоточной промывки осадков, определение оптимальных режимов промывки в этих аппаратах, а также методов расчета параметров промывки потребовали проведения большого объема экспериментальных и теоретических исследований, отраженных в настоящей диссертации.

Эти исследования представляют интерес не только для углеобогатительной промышленности, но и для других отраслей народного хозяйства (химическая, гидрометаллургическая, горнорудная, нефтеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная промышленность, производство редких элементов и др.), в которых широко применяются процессы промывки.

Обзор существующих способов промывки осадков и методов расчета параметров этих процессов

Промывка осадков представляет собой физико-химический процесс извлечения или снижения концентраций вещества, растворенного в поровой жидкости с помощью другой жидкости, называемой промывной.

По движущей силе процесса существующие методы промывки могут быть классифицированы:

Промывка методом вытеснения осуществляется в аппаратах, снабженных фильтрующими перегородками. Основной движущей силой процесса является наличие разности давлений по обе стороны перегородки.

Метод очень распространен в промышленности ввиду его простоты и сравнительно небольшого расхода промывной жидкости. Недостатком метода является невозможность достижения глубокой и равномерной промывки. В последние годы промывка методом вытеснения подвергалась неоднократным исследованиям и относительно подробно описана в литературе.

Промывка методом последовательного разбавления осуществляется путем чередования процессов обезвоживания (сгущения) и репульпации осадков и применяется в тех случаях, когда требуется глубокая и равномерная промывка тонкодисперсных материалов. В последние годы в связи с освоением эффективных флокулянтов этот метод получил особенно широкое применение. Несмотря на это, промывка методом разбавления недостаточно изучена и мало освещена в литературе.

Промывка методом диффузии осуществляется в массообменной аппаратуре. Основной движущей силой процесса является разность концентраций извлекаемого вещества в поровой и промывной жидкости. Промывка методом диффузии эффективна и требует минимального расхода промывной жидкости. Процесс мало изучен и слабо освещен в литературе.

Тема настоящей диссертации касается исследований двух последних, наиболее эффективных методов глубокой промывки осадков.

Так как при промывке извлекаемые вещества находятся в растворенном состоянии, все существующие методы расчета параметров многоступенчатой противоточной промывки методом последовательного разбавления основаны на материальном балансе при условии полного выравнивания концентраций при перемешивании во всех ступенях промывки. Такое допущение недостаточно обосновано, и эти методы расчета нельзя считать вполне удовлетворительными, поскольку они не свободны от ряда недостатков математического и физико-химического характера (критический обзор существующих методов расчета дан в главе I диссертации).

Важнейшим недостатком расчета математического характера является громоздкость расчетных уравнений и применимость их

лишь для некоторых частных случаев промывки, а главное — невозможность определения таких важных параметров процесса, как требуемое количество исходной и концентрация укрепленной промывной жидкости. Последние две величины являются взаимосвязанными, и для их нахождения необходимо решить уравнение высшего порядка. Такое уравнение не было найдено и долгое время задача оставалась нерешенной. Недостатком расчета физико-химического характера является игнорирование значения процессов, сопровождающих промывку, отсутствие корректирующих коэффициентов и следовательно неточность расчетных уравнений в приложении к реальному процессу промывки.

Все эти обстоятельства вызвали необходимость разработки более совершенных (аналитического и графического) методов расчета многоступенчатой противоточной промывки осадков путем последовательного разбавления. Эти методы расчета излагаются в главах II и III диссертации.

При разработке центробежного метода обогащения угля первоначально промывку продуктов обогащения предполагалось осуществлять методом последовательного разбавления с применением нескольких осадительных центрифуг в качестве обезвоживающего оборудования. Впоследствии, в целях упрощения аппаратурного оформления схемы центробежного обогащения, нами была разработана специальная шнековая промывочная центрифуга с многоступенчатым осадительным ротором типа ГПШ-12М.

Проведенные опыты подтвердили высокую эффективность процесса промывки осадков методом молекулярно-конвективной диффузии в такой центрифуге. Дальнейшее совершенствование и необходимость определения оптимальных режимов промывки в осадительных центрифугах потребовали большого объема экспериментальных исследований, изложенных в IV—VI главах диссертации. Эти исследования относятся к немногочисленным работам в области массообмена в пористых средах и являются первыми в области противоточной промывки осадков в шнековых осадительных центрифугах непрерывного действия.

Аналитический метод расчета многоступенчатой противоточной промывки осадков

В основе предложенного аналитического метода расчета идеального процесса многоступенчатой противоточной промывки осадков путем последовательного разбавления лежат обычные допущения о полном выравнивании концентраций жидкостей и одинаковой степени обезвоживания осадков во всех ступенях промывки.

Из материального баланса жидкости и растворенного вещества нами было найдено уравнение для аналитического определения идеального числа ступеней промывки

$$n = \frac{\lg \left[\frac{X_{\phi} - X_v}{K_{\kappa} - X_v} (d - 1) + 1 \right]}{\lg d}, \quad (1)$$

где X_v , X_ϕ и K_k — концентрация исходной промывной, укрепленной промывной и конечной поровой жидкости в весовых долях, соответственно; $d = V/W_k$ — отношение расхода промывной жидкости к содержанию жидкой фазы в конечном осадке.

Далее нами показано, что при определении расхода V исходной и концентрации X_ϕ укрепленной промывных жидкостей возникает необходимость решения степенных уравнений (при числе ступеней промывки n порядок уравнения будет $n+1$) вида:

$$A_1 V^{n+1} + A_2 V^n + A_3 V + A_4 = 0 \quad (2)$$

Решение таких уравнений (приближенными методами) при $n=4$ и выше очень громоздко и требует большой вычислительной работы. Задача определения V и X_ϕ значительно упрощается, если ввести следующий безразмерный параметр промывки:

$$\psi = \frac{\sigma - z\lambda}{1 - z},$$

где λ — отношение начального содержания жидкой фазы в осадке к конечному содержанию; σ — отношение начального содержания растворенного вещества в осадке к конечному содержанию; z — отношение концентраций жидкостей на выходе осадка из промывной установки.

Величина ψ представляет собой фактор промывки осадка раствором любой концентрации, соответствующий кратности промывки осадка чистым растворителем (при $z=0$ фактор $\psi = \sigma$).

После соответствующих подстановок и преобразований нами было найдено основное уравнение идеального процесса многоступенчатой противоточной промывки осадков методом последовательного разбавления:

$$(\lambda - 1)(d^n - 1) - (\psi - 1)(d - 1) + d(d^n - 1) = 0 \quad (3)$$

На рис. 1 приведена номограмма для решения системы уравнений (3) при значениях n , равных 2, 3, 4, 5 и 6. Номограмма позволяет определять расход промывной жидкости и другие параметры промывки с относительной погрешностью (менее 0,5%), допустимой для инженерных расчетов.

Уравнение (3) может быть основой для программирования и контроля процесса многоступенчатой противоточной промывки осадков.

Графический метод расчета и экспериментальные исследования многоступенчатой противоточной промывки осадков

Приведенные расчетные уравнения аналитического метода расчета справедливы при ранее упомянутых допущениях, т. е. соответствуют идеальному процессу многоступенчатой противоточной промывки осадков. При реальном процессе, большом числе ступеней промывки и необходимости определения концентрации промежуточных промывных жидкостей более предпочтительным является

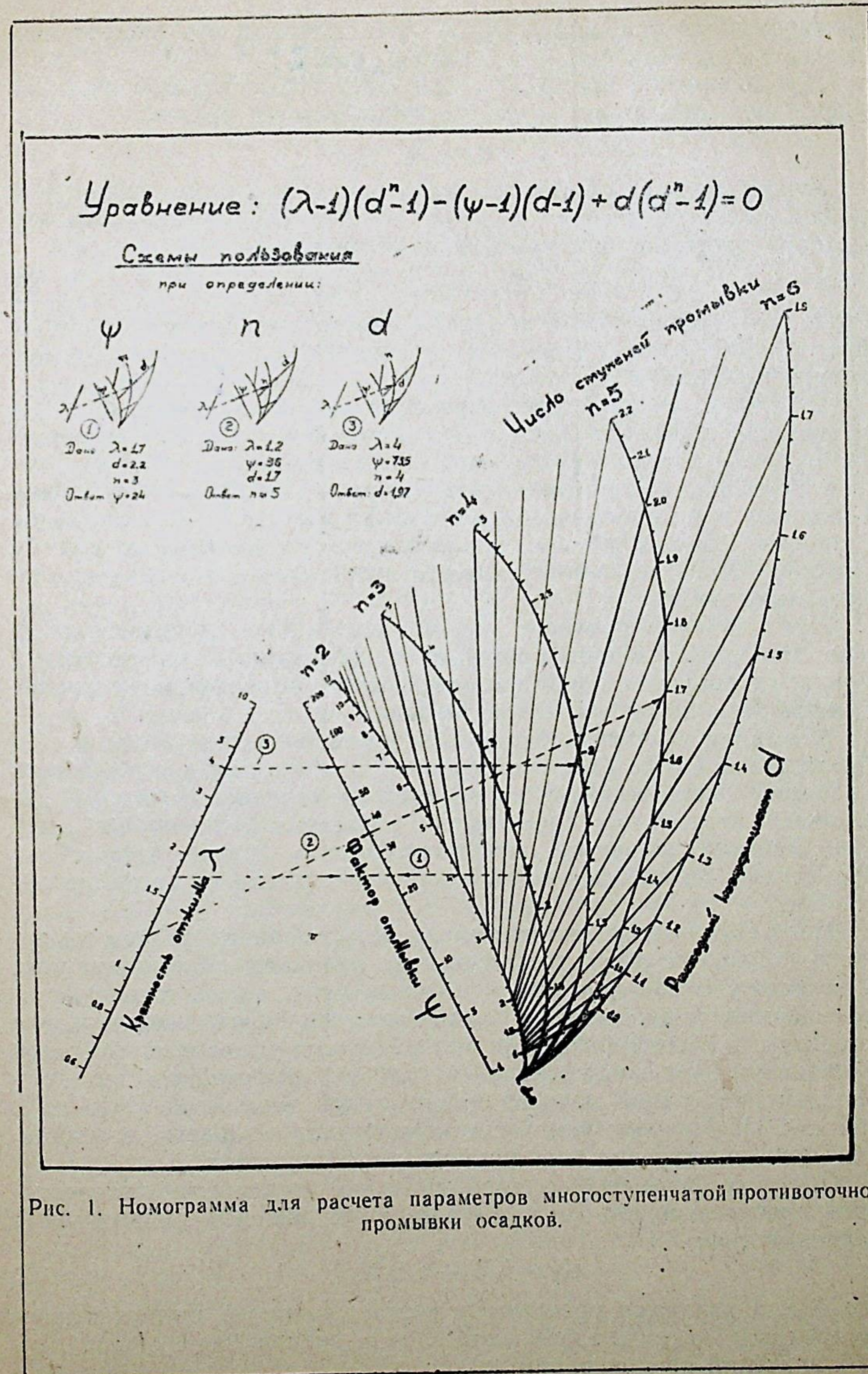


Рис. 1. Номограмма для расчета параметров многоступенчатой противоточной промывки осадков.

графический метод, аналогичный применяемому при расчете процессов разделения бинарных смесей. (рис. 2)

Для идеальной промывки линия равновесия, характеризующая диффузионную сторону процесса, соответствует прямой

$$K_i = X_i \quad (4)$$

Уравнение линии рабочих концентраций, характеризующей гидродинамическую сторону идеального процесса, найдено нами из материального баланса промывной установки:

$$K_i = dX_{i-1} + K_k - dX_v \quad (5)$$

Здесь K — концентрация поровой жидкости; X — концентрация промывной жидкости (индекс i — номер ступени промывки по движению промывной жидкости).

В отличие от процессов разделения бинарных смесей, при противоточной промывке осадков изменение концентрации жидкостей по ступеням процесса происходит более контрастно и поэтому график изменения концентрации целесообразнее изображать в системе координат с логарифмическими шкалами. Некоторая сложность построения графика в этом случае искупается большой точностью решения задачи в наиболее интересующей нас области низких концентраций жидкости.

При реальном процессе, как это показывают экспериментальные данные, промывка протекает с небольшими нарушениями принятых допущений и поэтому все ранее выведенные уравнения нуждаются в некоторой корректировке.

Механизм промывки осадков методом последовательного разбавления, как уже отмечалось ранее, заключается в чередовании процессов обезвоживания и репульсации осадков. Некоторые отклонения результатов промывки от расчетных объясняются главным образом побочными химическими или физико-химическими процессами, из которых наиболее распространенным является адсорбция.

Нами было проведено исследование влияния адсорбции хлористого кальция на результаты промывки продуктов обогащения угля в условиях, близких к тем, в которых проводилось большинство освещаемых в диссертации экспериментов. Опыты показали, что хлористый кальций физически адсорбируется углем и поэтому при репульсации угольных осадков не наблюдается полного выравнивания концентраций поровой и промывной жидкостей ($X_i = \alpha K_i$, где $\alpha < 1$). Причем, чем ниже концентрация поровой жидкости, тем меньше значение коэффициента выравнивания α .

С учетом физической адсорбции линия равновесия для реального процесса может быть выражена упрощенной эмпирической зависимостью:

$$K_i = AX_i - a/\lg X_i \quad (6)$$

где A и a являются расчетными коэффициентами, вычисляемыми по опытным значениям коэффициентов выравнивания α для граничных значений концентраций жидкостей.

Уравнение линии рабочих концентраций для реального процесса (при переменной влажности осадка по ступеням промывки) может быть выражено полуэмпирической зависимостью:

$$K_i = X_{i-1} + \left(\frac{\gamma_{i-1}}{\gamma_v}\right)^m \left[(d-1)X_{i-1} + K_k - dX_v \right], \quad (7)$$

где γ — уд. вес промывной жидкости; m — расчетный коэффициент.

Другая часть исследований адсорбции при промывке угольных осадков проводилась радиоизотопным методом с применением растворов хлористого кальция, меченых радиоактивным изотопом Ca-45. При этом обнаружилось, что суммарное количество соли, адсорбированной продуктами обогащения угля в растворах различной активности, является постоянным и равным количеству соли, адсорбированной продуктами обогащения угля в неактивном растворе и что при промывке водой продуктов обогащения угля не происходит полной отмывки соли, так как наряду с обратимой, имеет место необратимая адсорбция, значение которой возрастает с увеличением зольности продуктов.

Опыты показали, что определяя содержание хлористого кальция в осадке аналитически (путем титрования промывной воды азотнокислым серебром), с допустимой степенью погрешности можно пользоваться всеми ранее рекомендованными уравнениями, имея в виду при этом, что необратимо адсорбированная соль нами отнесена к нерастворимой твердой фазе осадка.

Рекомендуемые уравнения (6 и 7) были получены при экспериментальных исследованиях процесса противоточной промывки угольного концентрата от растворов хлористого кальция и проверены на промышленных установках для промывки тонких шламов алюминиевых заводов.

Результаты исследований промывки угольного концентрата даны на рис. 2 в виде графика изменения концентраций по ступеням промывки. Сплошными линиями изображен реальный процесс, построенный по эмпирическим зависимостям (6 и 7); штриховыми линиями — идеальный процесс; точки на графике соответствуют экспериментальным данным. Как это видно из рисунка, расчетные концентрации для реального процесса промывки практически совпадают с концентрациями, полученными из опыта.

С целью проверки рекомендуемых уравнений в промышленных условиях нами были подвергнуты анализу данные работы двух крупных установок для противоточной промывки шламов на Волховском и Днепровском алюминиевых заводах. В качестве промышленного оборудования на этих заводах применяются патронные вакуумфильтры-огустители и пропеллерные мешалки (Волховский завод) или отстойники Дорра и барботеры (Днепровский завод). Анализ показал, что концентрации жидкостей по ступеням промывки практически совпадают с расчетными.

Наиболее обобщающим параметром промывки, характеризующим эффективность протекания процесса, является расход исход-

ной промывной жидкости, необходимей для достижения заданного остаточного содержания отмываемого вещества. На исследованных промышленных установках фактический расход воды соответствовал уравнениям реального процесса промывки и на 15—20% превышал расход, определенный по номограмме (рис. 1) для идеального процесса промывки.

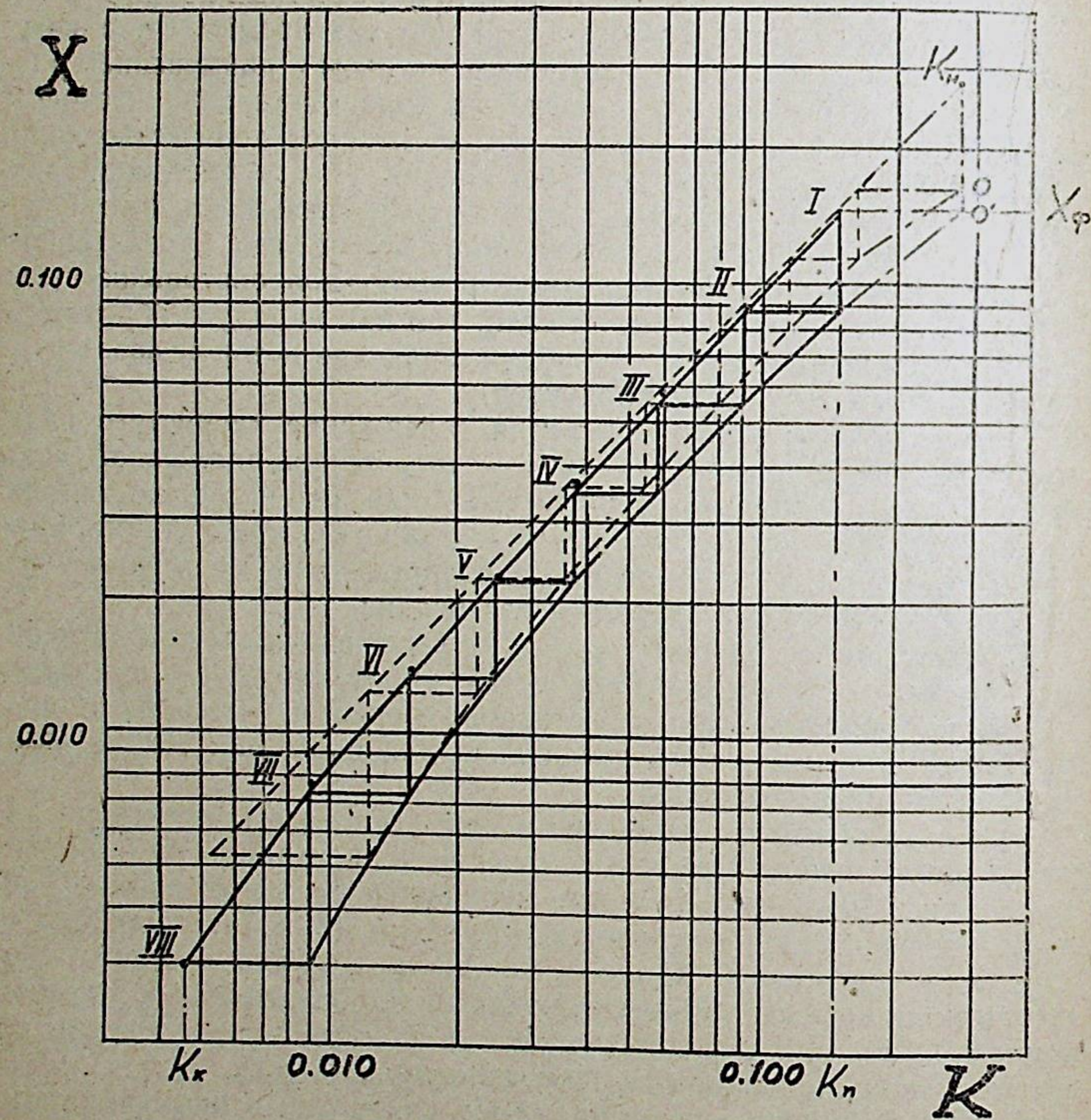


Рис. 2. График изменения концентраций жидкостей по ступеням противоточной промывки угольного концентрата от раствора хлористого кальция

Основные закономерности противоточной промывки осадков в осадительных центрифугах

Как уже отмечалось выше, продукты обогащения мелких углей в тяжелых жидкостях после обогатительных аппаратов содержат значительное количество растворенных веществ, от которых они должны быть отмыты. В связи с этим институтом «Гипроугле-

обогащение» (позднее слившимся с Институтом горючих ископаемых) были разработаны и внедрены новые эффективные шнековые осадительные центрифуги для противоточной промывки угольных и других нерастворимых осадков с усовершенствованным многоступенчатым ротором типа ГПШ-12М (схема центрифуги дана на рис. 3). Процесс противоточного массообмена между поровой и промывной жидкостью в этих центрифугах протекает в слое промываемого осадка, движущегося вдоль ротора и интенсифицируется чередованием процессов смешения в ваннах и обезвоживания в зонах осушки каждой ступени ротора. Таким образом противоточная промывка в центрифугах с многоступенчатым ротором сочетает в себе процесс диффузионного массообмена вдоль спирали

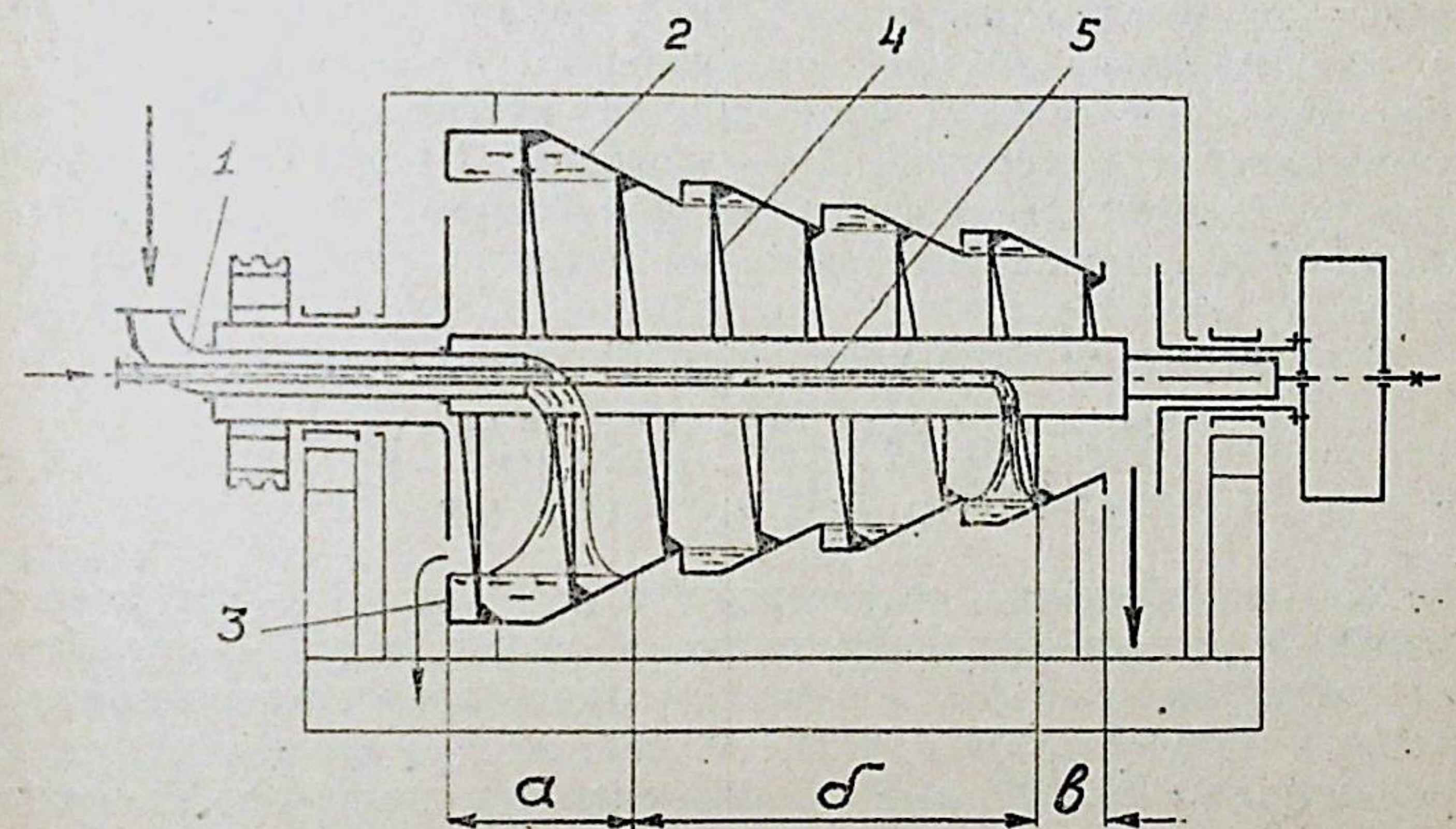


Рис. 3. Схема осадительной центрифуги для противоточной промывки осадков: 1 — труба подачи суспензии; 2 — ротор; 3 — сливной порог; 4 — шнек; 5 — трубка подачи промывной жидкости. а — зона отстаивания; б — зона промывки; в — зона обезвоживания

шнека с процессом многократной репульпации осадка в ваннах ротора.

Подлинной поверхностью массообмена в исследуемом процессе является суммарная поверхность тончайших зерен осадка, доступная контакту с промывной жидкостью, однако неравномерность распределения пор, а также слипаемость части зерен осадка крайне затрудняют количественную оценку такой поверхности. Поэтому нами принята условная, но достаточно характерная поверхность массообмена, представляющая собой наружную поверхность слоя осадка, соприкасающуюся с промывной жидкостью по всей длине спирали шнека. Эта поверхность зависит от конструктивных размеров ротора центрифуги и производительности машины, а также от природы промываемого материала, наиболее четко характеризуемой пористостью осадка.

Проведенные исследования показали, что эффективность противоточной промывки осадков в шнековых осадительных центрифугах зависит от гидродинамических условий протекания процесса, характеристики твердой фазы, физических свойств жидкой фазы, интенсивности центробежного поля и конструктивных особенностей ротора центрифуги. Процесс поддается изучению на основе метода обобщенных переменных и описывается критериальным уравнением:

$$\Pi_0 = A \Pi_D^m \Pi_z^i P_r^n F_r^k, \quad (8)$$

где Π_0 — аналог обобщенного критерия Нуссельта, характеризующий массообмен на границе раздела двух сред «поровая жидкость — промывная жидкость»; Π_D — аналог критерия Рейнольдса, характеризующий движение взаимодействующих сред; Π_z — характеристика твердой фазы осадка, коэффициент пористости промываемого материала; P_r — критерий Прандтля, характеризующий физические свойства жидкой фазы осадка; F_r — аналог критерия Фруда, характеризующий интенсивность центробежного поля.

В развернутом виде уравнение (8) имеет вид:

$$\frac{Kh}{D} = A \left(\frac{zlh\rho}{\mu} \right)^m \left(\frac{W_{к\gamma}}{\Delta} \right)^i \left(\frac{\mu}{D\rho} \right)^n \left(\frac{du^2}{g} \right)^k, \quad (8a)$$

где K — коэффициент массопередачи, $кг/м^2 \text{ сек}$; h — характерный линейный размер — средняя толщина осадка, $м$; D — коэффициент диффузии, $кг/м \cdot \text{сек}$, $м^2/\text{сек}$; z — относительное число оборотов шнека в $мин$; l — длина витка шнека, $м$; ρ — средняя плотность жидкости, $кг \cdot \text{сек}^2/м^4$; μ — средняя вязкость жидкости, $кг \cdot \text{сек}/м^2$; $W_{к\gamma}$ — содержание жидкой фазы в отмытом осадке в % к весу сухого осадка; γ — удельный вес твердой фазы осадка, $кг/м^3$; Δ — удельный вес жидкой фазы конечного осадка, $кг/м^3$; d — средний диаметр зоны промывки ротора, $м$; u — абсолютное число оборотов ротора в $мин$; g — ускорение силы тяжести, $м/сек^2$; A, m, i, n, k — константы уравнения.

Экспериментальные исследования противоточной промывки угольных осадков в осадительных центрифугах

Целью экспериментальных исследований являлось изучение влияния отдельных параметров и нахождение констант критериального уравнения процесса противоточной промывки угольных осадков в осадительных центрифугах. Исследования проводились на нескольких разновидностях полупромышленных центрифуг с гладким (ГПШ-3-1) и многоступенчатыми (ГПШ-3-3, ГПШ-3-4, ГПШ-3-5 и ГПШ-3-6) роторами, а также на промышленных центрифугах ГПШ-11-5 и ГПШ-12М. Противоточной промывке подвергались угольные осадки класса О-3 и О-6 $мм$, отличающиеся различной степенью дисперсности (содержание частиц мельче

0,074 $мм$ составляло от 5 до 40%), коэффициентом пористости (от 0,1 до 0,5), зольностью (от 2 до 50%) и др. физико-химическими показателями. Угольные осадки отмывались главным образом от водных растворов хлористого кальция. В части опытов осадки отмывались от водных растворов NH_4Cl , $NaCl$, Na_2SO_4 , K_2CO_3 и $CuSO_4$, обладающих различными коэффициентами диффузии (от $1,64 \cdot 10^{-9}$ до $0,29 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{сек}$).

Проведенные исследования позволили установить влияние на результаты промывки производительности машины, расхода промывной жидкости, характеристики твердой и жидкой фазы осадка, конструкции и скорости вращения ротора и шнека.

При количественной оценке влияния этих параметров на эффективность процесса (в частности при определении констант критериального уравнения) встретились значительные трудности. Дело в том, что в исследуемых центрифугах сочетаются два процесса, — отстаивания и промывки, причем центрифуги моделированы по процессу отстаивания, т. е. по аналогу критерия Фруда. Моделировать машины по аналогу критерия Рейнольдса, как это желательно было бы для процесса промывки, не представлялось возможным ввиду того, что при малых толщинах осадка на полупромышленных машинах это потребовало бы такого значительного увеличения относительной скорости вращения шнека, при котором большая и наиболее тонкодисперсная часть осадка перешла бы в фугат.

Кроме того имеется ряд существенно влияющих на процесс, но трудно поддающихся количественной оценке факторов. К ним относятся: изменение поверхностных свойств материала в зависимости от продолжительности его хранения; степень неравномерности питания машины; состояние поверхности ротора и шнека.

Влияние этих факторов осложняет изучение процессов массопередачи в пористых средах и является причиной значительных колебаний данных опытов, казалось бы проведенных в одинаковых условиях. Тем не менее проведенные испытания позволили проследить основные количественные закономерности процесса и установить приближенные значения констант критериального уравнения.

В пределах граничных условий проведенных опытов, критериальное уравнение для процесса промывки угольных осадков в тонком слое (при средней толщине осадка до 15 $мм$) имеет вид:

а) на полупромышленных центрифугах с гладким ротором

$$\Pi_0 = 4,0 \cdot 10^{-9} \Pi_D^{1,6} \Pi_z^{1,0} P_r^{0,6} F_r^{-0,3} \quad (9)$$

б) на полупромышленных центрифугах с многоступенчатым ротором

$$\Pi_0 = 11,5 \cdot 10^{-9} \Pi_D^{1,6} \Pi_z^{1,0} P_r^{0,6} F_r^{-0,3} \quad (10)$$

Соответствие критериальных уравнений (9) и (10) экспериментальным данным видно из графика рис. 4. Из приведенных дан-

ных следует, что коэффициент массопередачи при промывке в центрифугах с многоступенчатым ротором почти втрое выше коэффициента массопередачи при промывке в центрифугах с гладким ротором.

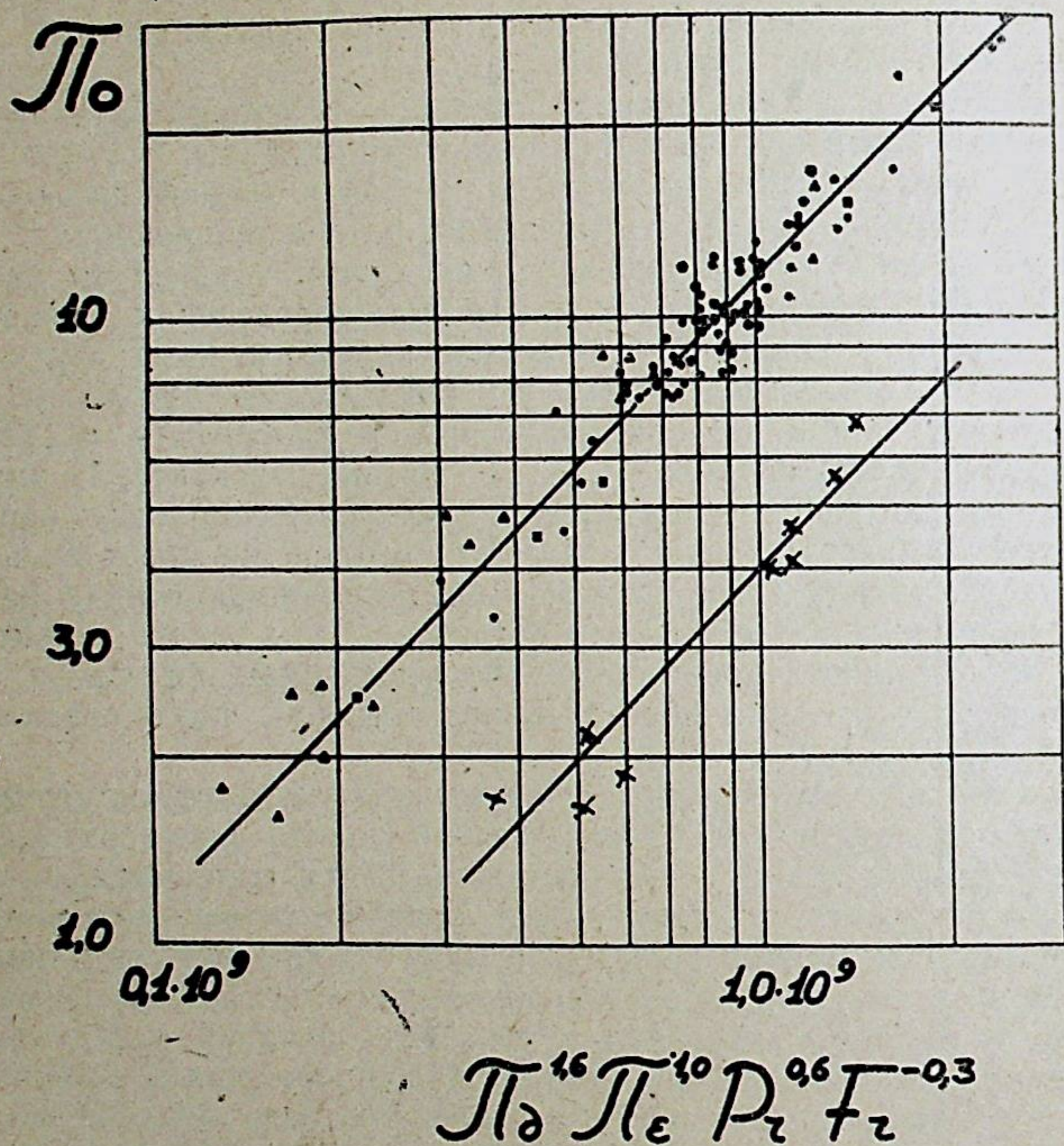


Рис. 4. График соответствия критериальных уравнений экспериментальным данным при промывке в центрифугах: \times — с гладким ротором ГПШ-3-1; \odot — с шестиступенчатым ротором ГПШ-3-6; \bullet — с пятиступенчатым ротором ГПШ-3-5; \blacksquare — с четырехступенчатым ротором ГПШ-3-4; \blacktriangle — с трехступенчатым ротором ГПШ-3-3.

Критериальное уравнение для процесса промывки осадков в толстом слое (при средней толщине слоя от 25 до 45 мм) на промышленных центрифугах с многоступенчатым ротором имеет вид:

$$\Pi_0 = 10,5 \cdot 10^{-15} \Pi_d^{16} \Pi_e^{10} P_r^{0,6} F_r^{-0,3} \quad (11)$$

Величины констант критериальных уравнений (10) и (11) позволяют сделать вывод о том, что в данном случае мы имеем дело с двумя различными режимами процесса. При промывке

осадков в толстом слое на промышленных центрифугах (при величинах $\Pi_d = 30\,000 \div 90\,000$) результаты промывки более чувствительны к изменениям условий протекания процесса в сравнении с промывкой в тонком слое в полупромышленных центрифугах (при величинах $\Pi_d = 4000 \div 12000$).

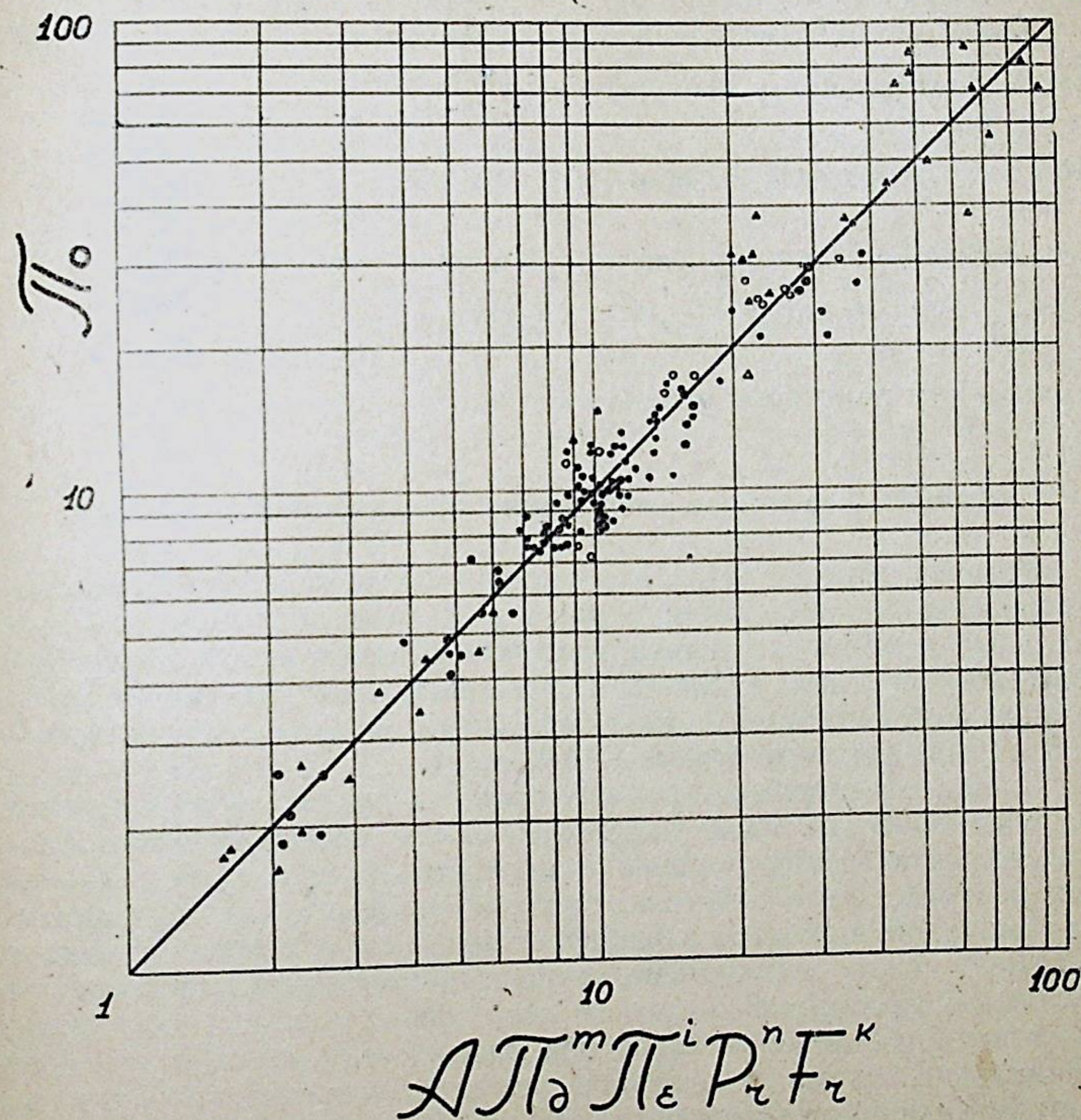


Рис. 5. Обобщенный график соответствия критериального уравнения экспериментальным данным: \odot — уголь; \bullet — мелкодисперсный концентрат; \blacktriangle — крупнодисперсный концентрат; \circ — мелкодисперсный промпродукт; \triangle — крупнодисперсный промпродукт

На рис. 5 дан обобщенный график соответствия критериального уравнения (8) экспериментальным данным, полученным при промывке различных угольных осадков в разнообразных полупромышленных и промышленных условиях.

Аппроксимация уравнения (8а) дает возможность установить частную формулу для определения коэффициента массопередачи

при промывке угольных осадков от водных растворов хлористого кальция в промышленных центрифугах типа ГПШ-12М:

$$K = 3,2 \cdot 10^{-6} \frac{W_k^2 z^{2,4} h^{1,4}}{u^{0,6}} \left[\text{кг/м}^2 \text{час} \right] \quad (12)$$

Формула действительна для следующих граничных условий:

Производительность центрифуги по сухому осадку	от 8 до 16 т/час
Расход промывной воды к весу сухого осадка	от 30 до 130%
Абсолютное число оборотов ротора в мин.	от 300 до 800
Относительное число оборотов шнека в мин.	от 10 до 30
Влажность конечного осадка	от 8 до 25%

Дальнейшее совершенствование промывочных центрифуг

Установленные при исследованиях закономерности процесса и произведенные испытания и расчеты позволили установить оптимальные режимы промывки угольных осадков на промышленных центрифугах типа ГПШ-12М: производительность машины при равномерном питании — 16 т/час, скорость вращения ротора — 800 об/мин, диаметр слива — 1040 мм.

С целью совершенствования процесса противоточной промывки в центрифугах нами предложен новый способ противоточного массообмена между поровой и промывной жидкостью в аппаратах центробежного действия, заключающийся в том, что промывная жидкость подается в периферийную зону аппарата и взаимодействие между жидкостями осуществляется путем многократных пульсаций промывной жидкости через фильтрующую перегородку. На основе предложенного способа массообмена разработаны принципиальная схема и эскизное решение новой центрифуги для противоточной промывки в фильтрующем режиме. В новой центрифуге при периферийном движении легкой промывной жидкости, центробежная сила направлена в сторону основного диффузионного процесса промывки (показатель степени при числе $Fg > 0$), что облегчает контакт взаимодействующих жидкостей и повышает эффективность процесса.

С целью дальнейшего улучшения конструкции осадительных промывочных центрифуг нами проведены сравнительные испытания нескольких типов осадительных роторов полупромышленных размеров. При этом опыты по промывке угля (от водного раствора хлористого кальция) проводились при производительности центрифуги 600 кг/час и расходе промывной воды — 30% к весу

сухого угля (скорости вращения ротора и шнека оставались неизменными).

Испытания показали, что увеличение длины зоны обезвоживания сверх определенной величины не оказывает существенного влияния на влажность и степень отмывки конечного продукта; увеличение же длины зоны отстаивания значительно снижает унос твердой фазы с фугатом. Вместе с тем испытания показали, что существует оптимальное число ступеней ротора и что при обычном угле наклона образующей конических обечаек 15—20°, оптимальным для исследованных материалов является трехступенчатый ротор с глубокими ваннами и развитой зоной отстаивания. При таком роторе были получены максимальный коэффициент массопередачи и минимальный унос твердого с фугатом.

Существенное влияние на результаты промывки оказывает число заходов шнека. В проведенных исследованиях лучшие показатели были получены при четырехзаходном шнеке, однако учитывая громоздкость конструкции последнего, более целесообразным является применение двухзаходного шнека.

Результаты сравнительных испытаний роторов различных типов были учтены при проектировании промышленных центрифуг. Конструкция первоначально разработанной центрифуги ГПШ-12М с пятиступенчатым ротором пересмотрена. Новые промышленные центрифуги типа ГПШ-12МК (с четырехступенчатым ротором) и ОПШ-12 (с трехступенчатым ротором) выполнены с глубокими ваннами в зонах отстаивания и промывки.

Шнековые осадительные центрифуги для противоточной промывки осадков являются высокоэффективными аппаратами. Они освоены, внедрены и находятся в постоянной эксплуатации в углеобогатительной промышленности. Ведутся успешные работы по освоению и внедрению этих центрифуг в нефтеперерабатывающей промышленности для промывки комплекса карбамида бензином в процессе депарафинизации дизельного топлива. Ведутся подготовительные работы по освоению осадительных промывочных центрифуг в других отраслях народного хозяйства.

Заключение

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования противоточной промывки угольных и других нерастворимых осадков дали следующие результаты:

1. Систематизированы существующие способы промывки. По движущей силе процесса они могут быть классифицированы следующим образом: промывка методом вытеснения; промывка методом последовательного разбавления; промывка методом диффузии.

2. Разработан обобщенный аналитический метод расчета параметров идеального процесса многоступенчатой противоточной промывки осадков последовательным разбавлением: выведены расчетные уравнения и построена номограмма для решения параметров процесса. В отличие от других методов предложенный метод рас-

Центральная научная библиотека
Академии наук Киргизской ССР

245516.

чета позволяет определять важнейшие и наиболее трудно определяемые параметры процесса — расход исходной и степень упрочения конечной промывной жидкости.

3. Разработан графический метод расчета идеального процесса многоступенчатой противоточной промывки осадков последовательным разбавлением. Этот метод предпочтителен при большом числе ступеней промывки и необходимости определения концентрации промежуточных промывных жидкостей.

4. Исследовано влияние адсорбции хлористого кальция на результаты промывки угольных осадков. В расчетные уравнения внесены коррективы, позволяющие определять параметры реального процесса промывки при наличии адсорбции растворенного вещества твердой фазой осадка и с учетом эффективности работы смесительного и обезвоживающего оборудования.

5. Предложенные методы расчета многоступенчатой противоточной промывки нерастворимых осадков путем последовательного разбавления проверены на полупромышленных и промышленных установках. Данные работы этих установок практически совпадают с расчетными.

6. Разработана и внедрена в промышленности шнековая осадительная центрифуга с многоступенчатым ротором для эффективной противоточной промывки угольных и других нерастворимых осадков методом диффузии.

7. Изучено влияние важнейших параметров, установлен общий вид критериального уравнения и определены константы уравнения при основных режимах противоточной промывки угольных осадков в шнековых осадительных центрифугах с гладким и многоступенчатым ротором. Установлено, что коэффициенты массопередачи при замене гладкого ротора многоступенчатым возрастают почти в три раза.

8. Установлены оптимальные режимы (производительность, режимы питания, число оборотов ротора и шнека) противоточной промывки угольных осадков в шнековых осадительных центрифугах.

9. Проведено дальнейшее усовершенствование конструкции роторов (увеличение объема ванны зоны отстаивания и глубины ванн зоны промывки) шнековых осадительных центрифуг для противоточной промывки нерастворимых осадков.

10. Предложены новый способ противоточного массообмена и новая центрифуга для эффективной противоточной промывки нерастворимых осадков в фильтрующем режиме.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОСВЕЩЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТАХ:

1. Брук О. Л. «Методика расчета многоступенчатой противоточной промывки продуктов центробежного обогащения угля». Сб. ВНИИУглеобогащения. Госгортехиздат, стр. 18, 1959.

2. Брук О. Л. «Обобщенный метод расчета многоступенчатой противоточной промывки осадков». Химическая промышленность, № 8, стр. 660, 1960.

3. Брук О. Л. «Графический метод расчета и экспериментальное исследование многоступенчатой противоточной промывки осадков». Химическая промышленность, № 8, стр. 596, 1962.

4. Брук О. Л., Каминский В. С., Штейнберг Д. И. «Фильтрация и промывка продуктов обогащения мелких углей в тяжелых жидкостях». Сб. «Обогащение и брикетирование углей», Госгортехиздат, № 28, стр. 31, 1962.

5. Каминский В. С., Соколова М. С., Брук О. Л., Корсак Л. Л. «Исследование адсорбции хлористого кальция продуктами гравитационного обогащения угля радиоизотопным методом». Сб. «Обогащение и брикетирование углей», Госгортехиздат, № 30, стр. 65, 1963.

6. Брук О. Л. «Многоступенчатая противоточная промывка осадков с промежуточным отбором промывных вод». Химическая промышленность, № 5, стр. 371, 1964.

7. Брук О. Л., Додин Н. П., Каминский В. С. «Осадительные центрифуги для противоточной промывки осадков». Химическое и нефтяное машиностроение, № 2, стр. 4, 1964.

8. Каминский В. С., Брук О. Л., Додин Н. П., Бочков Ю. Н. «Освоение угольных отстойно-промывочных центрифуг в нефтехимической промышленности». Труды ИГИ. Сб. «Химическая переработка топлив». Изд. «Наука», стр. 206, 1964.

9. Брук О. Л. «Исследование процесса противоточной промывки осадков в отстойно-промывочных центрифугах», Химическая промышленность (в печати).

10. Гипроуглеобогащение (при участии О. Л. Брука). «Горизонтальная шнековая центрифуга с конусным ротором для противоточной промывки зернистых и других измельченных продуктов». Авторское свидетельство № 107057, Мин. Угольной пром., 1955.

11. Брук О. Л. «Способ противоточного массообмена». Авторское свидетельство № 141452, Бюл. изобретений, № 19, стр. 17, 1961.

12. Брук О. Л., Зерницкий В. Г., Штейнберг Д. И. «Шнековая центрифуга непрерывного действия для противоточной промывки осадков». Авторское свидетельство № 156898, Бюл. изобретений, № 17, стр. 5, 1963.