

661.83

A-20

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР**

---

**Белорусский технологический институт  
имени С. М. Кирова**

На правах рукописи

**В. Н. АВИЛОВ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ  
ШЛАМОВ КАЛИЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ МЕТОДОМ  
ПРОТИВОТОЧНОЙ ПРОМЫВКИ**

**( Специальность 05.340 Технология  
неорганических веществ )**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Минск, 1970

661.83

A-20

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический  
институт им.С.М.Кирова

На правах рукописи  
В.Н.АВИЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ  
ШЛАМОВ КАЛИЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ МЕТОДОМ  
ПРОТИВОТОЧНОЙ ПРОМЫВКИ.

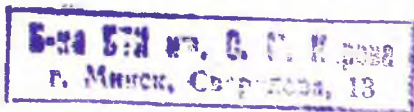
(Специальность 05.340 Технология  
неорганических веществ)



2557ap.

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск - 1970 г.



Работа выполнена в Солигорской  
лаборатории Всесоюзного научно-  
исследовательского и проектного  
института галургии и на Солигор-  
ских калийных комбинатах.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
В.В.ВЯЗОВОВ

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
В.В.ПЕЧКОВСКИЙ,  
кандидат технических наук, доцент  
Ю.А.ШАХОВ

Будущее предприятие- Калужский химико-металлургический  
комбинат.

Автореферат разослан " " декабря 1970г.  
Защита диссертации состоится 10 февраля 1971 г.  
на заседании Совета Белорусского технологического  
института им.С.М.Кирова, г.Минск, ул.Свердлова, 13а,  
220 аудитория (4-й корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
института.

Отзывы в двух экземплярах просим присылать в  
адрес Ученого секретаря Совета.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА, доцент

*И.М. ПЛЕХОВ*

ПЛЕХОВ И.М.

Важнейшую роль в увеличении урожайности сельскохозяйственных культур призваны сыграть минеральные удобрения, в том числе и калийные.

Новые калийные комбинаты перерабатывают и будут перерабатывать руду с высоким содержанием глинистых веществ. Повышенное содержание глинисто-солевых шламов в перерабатываемых рудах обуславливает увеличение потерь калия и расхода флотационных реагентов. Повышение технико-экономических показателей предприятий, перерабатывающих такие руды возможно только при условии обесшламливания руды и рациональной обработки образующихся глинисто-солевых шламов.

Эффективным способом обработки шламовой пульпы является противоточная промывка (ПТП).

Разработке методов расчета параметров противоточной промывки осадков посвящены работы О.Д.Бруна, Н.И.Гельперина, Е.П.Трифтина, О.Д.Кашкарова, И.К.Скобеева, Д.Е.Кольмана и других авторов. Однако, предложенные ими методы расчета в условиях калийной промышленности обычно приводят к значительным отклонениям от фактических данных.

В диссертации приводится математическое описание противоточной промывки глинисто-солевых шламов калийных предприятий и результаты экспериментальной проверки выведенных формул.

На Солигорских калийных комбинатах глинисто-солевой шлам складывается на участках, околнуренных грунтовыми дамбами-шламохранилищами. Осветленный в шламохранилищах рассол возвращается на фабрики. Земельные участки, занимаемые шламохранилищами, составляют многие десятки гектар плодородных земель. От закономерности уплотнения пульпы в них зависят и окончательное извлечение калийного компонента в готовый продукт и занимаемая площадь шламохранилищами. Поэтому в нашей работе уделено должное внимание изучению закономерностей уплотнения пульпы в шламохранилищах.

На основе анализа математического описания противоточной промывки глинисто-солевых шламов определяются принципы регулирования процесса. Предлагается метод расчета экономически наимыгоднейшего числа ступеней промывки.

Таким образом, целью настоящей работы является математическое описание противоточной промывки глинисто-солевых шламов калийных предприятий, обобщение на его основе экспериментальных данных, исследование процессов стущения шламовых пульп в стущителях и в шламохранилище и выбор оптимального варианта для проектирования цехов противоточной промывки шламов на Солигорских калийных комбинатах.

На основании проведенных работ уже запроектированы отделения промывки шламов и кристаллизации хлористого калия из ирраких промывных щелоков на Втором и Третьем Солигорских калийных комбинатах. На Втором

калийном комбинате технологический процесс промывки уже освен.

Настоящая работа проведена для Солигорских калийных комбинатов, но основные выявленные закономерности и методики расчета применимы для других калийных предприятий.

### І. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОТОЧНОЙ ПРОМЫВКИ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ ШЛАМОВ.

На Втором и Третьем Солигорских калийных комбинатах глинисто-солевой шлам получается в результате отделения от измельченной руды класса минус 50-70 мк. Шлам можно разделить на растворимую и на нерастворимую в воде фракции. Растворимая в воде (солевая) фракция состоит из наиболее крупных частиц, содержащих  $\text{NaCl}$  и  $\text{KCl}$  с примесями  $\text{MgCl}_2$  и  $\text{CaSO}_4$ , не играющими ощутимой роли при переработке сильвинитов Солигорского месторождения. Специальные исследования различных авторов показали, что нерастворимая в воде фракция (или или  $\text{H}_2\text{O}$ ) состоит из глины (алюмосиликаты) с высоким содержанием карбонатных минералов (доломит, кальцит) а также ангидрита. Гранулометрический анализ показал, что в солевом растворе примерно 50%  $\text{H}_2\text{O}$  находится во фракции минус 10 мк.

Жидкая фаза, в которой происходят процессы переработки шламов, представляет собой водный раствор  $\text{KCl}$  и  $\text{NaCl}$  с примесями в основном  $\text{MgCl}_2$  и  $\text{CaSO}_4$ , в сумме не достигавшими одного процента. С технологической точки зрения свойства такого раствора не отличаются от свойств системы  $\text{KCl-NaCl-H}_2\text{O}$  с равной степенью насыщения солями.

В связи с отсутствием высокопроизводительного фильтрационного оборудования обезвоживание шламовой пульпы по ступеням производится в густителех радиального типа. Перед поступлением в очередной густитель пульпа перемешивается в механических мешалках, затем в нее добавляется 0,24%-й водный раствор полиакриламида (ПАА) и принята схема ПТН со складированием промытых шламов в шламохранилище приведена на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

$M_0, M_i, M_k$  - весовое отношение вода/ила, соответственно в пульпе, поступающей на промывку, в пульпе, выгружаемой из отстойника  $i$ -той ступени и в уплотненной пульпе на шламохранилище, кг воды / 1 кг ила.

$C_0$  - отношение веса хлористого калия, находящегося как в жидкой, так и в твердой фазе исходной пульпе, кг  $\text{KCl}$ /кг воды.

$C_i, C$  - отношение веса  $\text{KCl}$  к весу воды, соответственно, в сливе  $i$ -той ступени и в рассоле, возвращаемом со шламохранилища, кг  $\text{KCl}$  на 1 кг воды.

$W_i, W, W'$  - вес воды на кг ила в исходной пульпе, соответственно, в сливе  $i$ -той ступени, в рассоле, возвращаемом со шламохранилища, воды, поступающей в шламохранилище с атмосферными осадками (за вычетом испарения) и вводимой в шлам после последней ступени промывки, кг  $\text{H}_2\text{O}$ /кг ила.

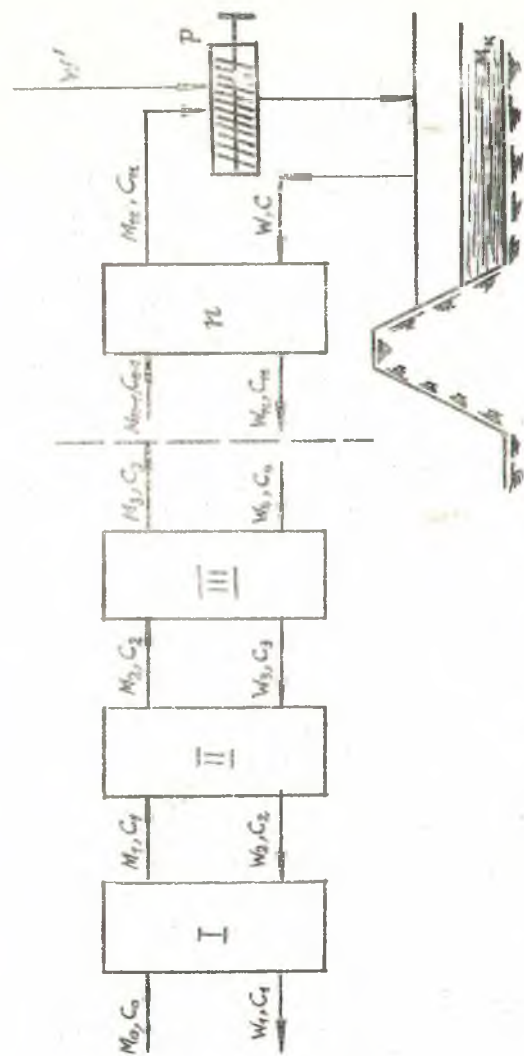


Рис 1. Принциальная схема противоточной промывки  
шламов со складированием промытого шлама  
в шламоохранилище.

Отличительной особенностью промывки глинисто-солевых шламов является сочетание собственно промывки с растворением солей  $KCl$  и  $NaCl$  на всех стадиях процесса. При правильно выбранном режиме практически весь калийный компонент растворится в репульнаторе-растворителе перед первой ступенью промывки. Однако, в ряде случаев хлористый калий растворяется на всех ступенях промывки. Это обычно не позволяет использовать ранее предложенные формулы для расчета технологических параметров. Кроме того, эти формулы не учитывают влияния возврата раствора из шламохранилища. В ниже прилагаемых расчетах учитывается взаимосвязь режима работы шламохранилища с ПТП.

В диссертации установлено, что все режимы промывки глинисто-солевых шламов сводятся к двум основным режимам.

Режим промывки, когда при данной температуре в репульнаторе-растворителе перед первой ступенью невозможно выщелачить весь хлористый калий из шлама, даже при бесконечном времени перемешивания, будем называть "режимом с неполным растворением". В этом случае растворение  $KCl$  происходит и на последующих ступенях.

Ясно, что если в условиях режима с неполным растворением в достаточной мере увеличить расход воды на промывку или повысить температуру в первом репульнаторе, то весь хлористый калий можно выщелачить из шлама в первом репульнаторе. Такой режим будем называть "режимом с полным растворением". Он является наиболее эффективным. При математическом описании этого режима были приняты следующие допущения:

- 1) хлористый калий растворяется только в репульнаторе перед первой ступенью;
- 2) концентрации хлористого калия в жидкой фазе слива и разгрузки отстойника равны;
- 3) твердая фаза в слив отстойников не уносится.

В проводимых расчетах принимаются в качестве основных величин значения  $M$ , выражающие весовое отношение воды к илу на всех стадиях обработки шлама.

С учетом этих допущений составлены уравнения баланса воды и калия на всех стадиях промывки и получены следующие расчетные уравнения.

$$\eta = \eta_{\max} \left[ 1 - \frac{1}{1 + \frac{M_0}{M} X + \prod_{i=1}^n \frac{W_i}{M_i} + \prod_{i=1}^n \frac{W_i}{M_i} + \dots + \prod_{i=1}^{n-1} \frac{W_i}{M_i} + \left( \frac{W}{M_n} + 1 \right) \prod_{i=1}^n \frac{W_i}{M_i}} \right] \quad (1)$$

$$C = C_0 \frac{M_0}{M_n} (\eta_{\max} - \eta) \quad (2)$$

$$C_1 = \eta \frac{C_0}{X} \quad (3)$$

$$W_i = M_0 (X - 1) + M_{i-1} \quad (4)$$

где:  $\eta$  — извлечение калийного компонента из шламовой пульпы в крепкий щелок, в долях единицы;

$\eta_{\max}$  — отношение веса полезного вещества, находящегося в жидкой фазе, к весу этого вещества в пульпе, поступающей в отстойник первой ступени, в долях единицы;

$X$  — отношение веса воды в сливе первой ступени к весу воды в исходном шламе;

$n$  — число ступеней промывки.

Приведенные формулы учитывают работу шламохранилища, как технологического объекта, свойства которого будут описаны ниже.

Опыт показывает, что  $M$  при противоточной промывке является, приблизительно, постоянной величиной. Однако, исходная шламовая пульпа ( $M_0$ ) и тем более уплотненный шлам в шламохранилище ( $M_k$ ) имеет значения, отличающиеся от  $M$ . В этих условиях основная формула значительно упрощается

$$\frac{\eta}{\eta_{\max}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{M_0}{M} X (1 + B + B^2 + B^3 + \dots + B^{n-1}) + \frac{M_0}{M_k} X B^n} \quad (5)$$

$$\text{где } B = \frac{M_0}{M} (X - 1) + 1 \quad (6)$$

В условиях калийных обогатительных фабрик водный баланс сводится только при значениях  $X$  близких к единице. При  $X = 1$  формула (5) принимает следующий вид

$$\frac{\eta}{\eta_{\max}} = 1 - \frac{1}{1 + n \frac{M_0}{M} + \frac{M_0}{M_k}} \quad (7)$$

Все приведенные уравнения учитывают неполное выщелачивание хлористого калия из шлама, растворение твердой фазы на всех стадиях промывки и складирование промытого шлама в шламохранилище с использованием осветленного рассола в качестве промывной жидкости.

В работе приводятся многочисленные номограммы для расчета параметров промывки. В частности, номограмма 4.

С помощью уравнения (5) проследим влияние различных параметров на извлечение калийного компонента в крепкий щелок.

Обнаруживаем, что при  $X < 1$  обычно невозможно достичь высокой степени извлечения полезного вещества из шламовой пульпы даже при большом числе ступеней промывки. Процесс следует вести при наибольшем значении коэффициента избытка воды  $X$ . ✓

Наибольший эффект оказывают первые три-пять ступеней. В дальнейшем будет показано, что максимальная экономическая эффективность получается при  $n = 2-3$ . ✓

Проанализируем теперь влияние  $M_0$ ,  $M$  и  $M_k$ , характеризующих уплотнение исходной пульпы, пульпы по ступеням и в накопительном бассейне.



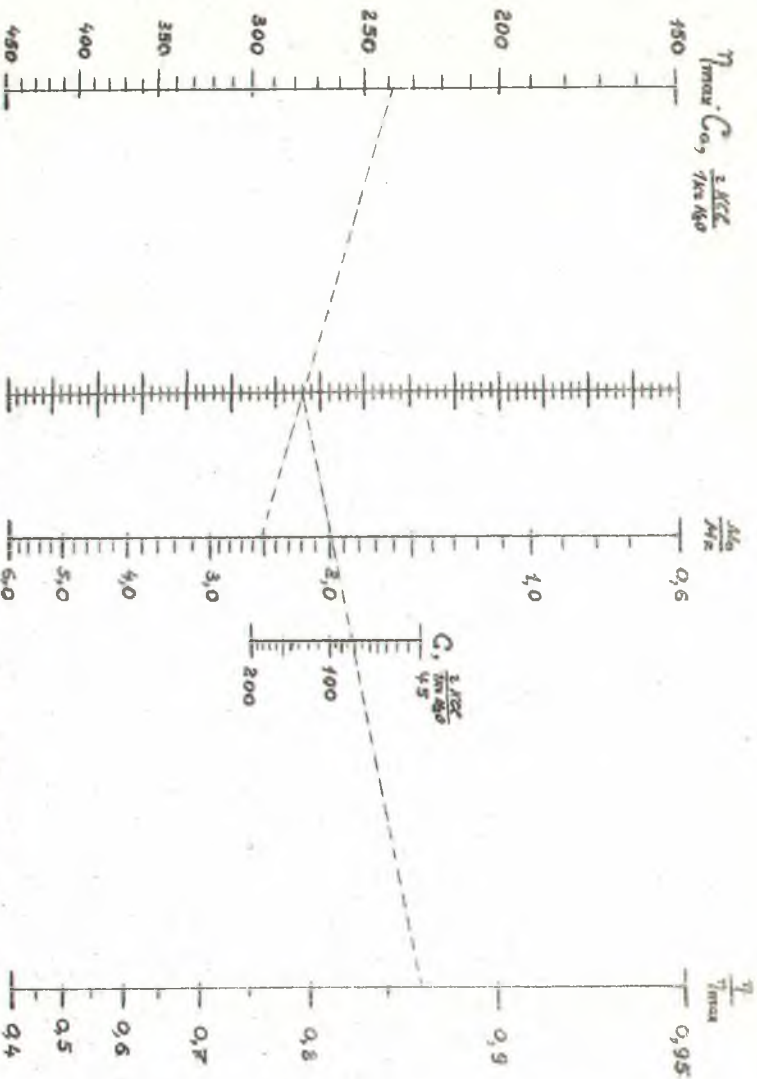


Рис. 4. Номограмма для расчета парметров трюмники  
 $C, C$  — концентрации КСl в исходной пучине и расчете в шлюзоводильнице;  
 $N, N$  — факте отклонение борд/из в исходной пучине и пучине в шлюзоводильнице;  
 $\eta$  — избыточные КСl в крепких шлюзах.

Предположим, что нормальные значения  $M_0, M$  и  $M_k$  соответственно равны 4,5; 5,0; 1,7. Поддерживая два из исследуемых фактора на этих постоянных значениях и изменяя третий, получим графики, изображенные на рис. 7.

Влияние параметров  $M_0$  и  $M$  объясняется довольно просто. Когда  $M_0$  увеличивается или  $M$  уменьшается, то относительное обезвоживание  $\left(\frac{M_0}{M}\right)$  по ступеням тоже увеличивается. Следовательно, извлечение хлористого калия из шламовой пульпы возрастает. Анализ уравнения (5) показывает, что с увеличением  $M_0$  уменьшается и количество хлористого калия, окончательно теряемого с уплотненным шламом в шламохранилище. Следовательно, не всегда необходимо добиваться уплотнения пульпы, поступающей на промывку.

С увеличением  $M_k$  количество воды, оставшейся с уплотненной пульпой на шламохранилище, и вместе с ней и количество хлористого калия увеличивается.

Одной из особенностей противоточной промывки глинисто-солевых шламов является существование режима промывки с неполным растворением. Математическое описание режима с неполным растворением является очень сложной задачей. Основным технологический параметр (эффективность промывки) можно выразить следующим образом:

$$\eta_p = K \frac{m_0 \times A_{k,t}}{\beta_{k,t} + m_0 \beta_{k,m}} \quad (8)$$

где:  $A_{k,t}$  - содержание хлористого калия в насыщенной системе  $H_2O - KCl - NaCl$  при температуре крепкого щелока  $t$ , вес%;

$\beta_{k,t}, \beta_{k,m}$  - содержание хлористого калия, соответственно в твердой и жидкой фазах исходной пульпы, вес, %;

$K \ll 1$  - определяется экспериментально. Ниже будет показано, что при достаточном времени перемешивания (порядка 15-30 минут) в репульпаторе перед первой ступенью,  $K=0,95$ . Номограмма 8 позволяет определить  $\eta_p/K$  когда промывка ведется при  $25^\circ C$ .

Переход от одного режима к другому происходит при

$$M_1' = M_0 \left[ 1 - X + \frac{C_0 - C_{k,t}}{C_{k,t} - C_2} \right] \quad (9)$$

Если  $M_1' < M_1$ , то промывка осуществляется в режиме с неполным растворением. Тогда рост числа ступеней промывки не влияет на её эффективность.

Использование рассола со шламохранилища в качестве промывной жидкости является еще одной особенностью промывки глинисто-солевых шламов калийных предприятий. Если в холодный период года температура рассола падает ниже температуры насыщения, то часть калия выпадает в виде кристаллов калийной соли, уменьшая эффективность промывки.

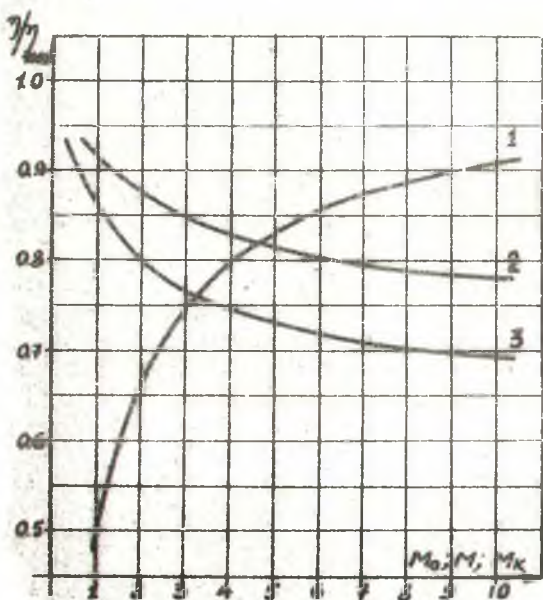


Рис. 7. Зависимость эффективности промывки  $\eta/\eta_{max}$  от уплотнения:  
 1 исходной пульпы  $M_0$ ;  
 2 пульпы по ступеням  $M$ ;  
 3 пульпы в шламохранилище  $M_k$ ;  
 при  $X=1$  и  $n=2$

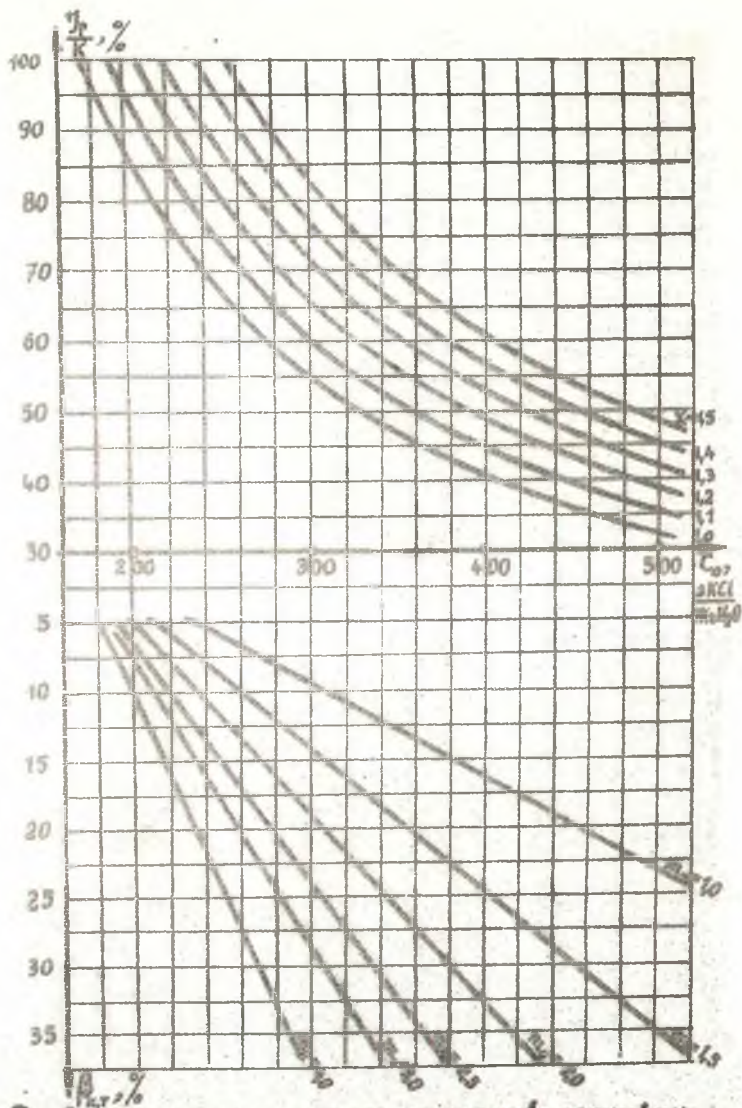


Рис 8. Номограмма для расчета параметров протравки  
 шлангов в режиме незначительного растворения при темпер. 25°C  
 $\frac{y}{K}$  — максимальное извлечение KCl в крепкий целюк;  
 $C_0$  — концентрация KCl в исходной пульпе;  
 $m_0$  — весовое отношение жидкое/твердое в исходной пульпе;  
 $\frac{x}{K}$  — содержание KCl в твердой фазе исходной пульпы.

В диссертации приводится методика расчета извлечения КС1 в крепкий целок с учетом кристаллизации его на шламохранилище.

На установках ПП тепло необходимо вводить в репульнатор перед первой ступенью, где концентрация КС1 самая высокая. Однако, подробные расчеты показывают, что прогрев пульпы "острым паром" приведет к существенному понижению эффективности промывки вследствие уменьшения расхода рассола со шламохранилища. Поэтому в работе рекомендуется вводить тепло в первый репульнатор, подогревая "глухим паром" олив второй ступени промывки.

Для подтверждения правоты применения предлагаемых уравнений, связывающих параметры противоточной промывки глинисто-солевых шламов калийных предприятий были проведены многочисленные экспериментальные работы на лабораторных и полупромышленных установках, а также использованы данные опытных работ, проведенных ранее на Приарпатском месторождении под руководством В.В.Вязовова.

## П. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОТОЧНОЙ ПРОМЫВКИ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ ШЛАМОВ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ.

В лабораторной установке в качестве шламовых отстойников использовались стальные трубы диаметром 125 мм и высотой 1300 мм, внутренние стенки были покрыты эпоксидной смолой для значительного уменьшения их шероховатости.

В отстойниках, со скоростью 1,2 об/мин вращаются мешалки, перемешивая пульпу в зоне стужения и передвигая её к разгрузочному отверстию в центре дна. Отстойники снабжены рубашками воды для поддержания требуемой температуры.

Перед откачкой в очередной отстойник пульпа поступала в репульнатор с пропеллерной мешалкой и паровой рубашкой. Перед первой ступенью перемешивание длилось 10 минут, а перед последующими - по три минуты.

В каждый отстойник подавался 0,25%-й раствор полиакриламида (ПАА) из расчета, примерно, 100г ПАА/1 т илбв.

Опыт длился обычно не менее двух суток, из них в течение 8-16 часов снимались показатели для составления материального баланса.

Произвращалась глинисто-солевая пульпа, полученная в результате обесшламливания руды Первого калийного комбината на опытной фабрике. Крупность зерен не превышала 0,074 мм.

Содержание н.о. в шламе колебалось от 36 до 75%, а хлористого калия от 21 до 5,6%. Опыты проводились в режиме полного и неполного растворения.

Опытно-промышленная установка была трехступенчатой с отстойниками диаметром 3,6 м и высотой цилиндрической части 1,6 м. Для флокуляции шлама применялся 0,25%-й раствор ПАА.

В период всех работ на этой установке, фабрика перерабатывала руду шахтного поля Второго Солигорского калийного комбината.

Промывка осуществлялась в одну, две или три ступени в режимах с полным и неполным растворением. Каждый опыт длился от двух до пяти суток. За это время достигалась стабилизация процесса.

В промываемом шламе содержалось от 11 до 20% KCl, от 35 до 46% н.о., от 36 до 54% NaCl. Размер зерен не превышал 0,74 мм. Жидкая фазоводный раствор, насыщенный по KCl и NaCl при температуре 20-25°C.

Результаты опытов, проведенных в режиме с неполным растворением показывают, что в уравнении (5)  $K=0,95$ . Опытные данные подтвердили вывод о том, что в режиме неполного растворения изменение удельной производительности установки не оказывает влияния на извлечение полевого компонента из пульпы.

Для проверки математического описания промывки в режиме полного растворения были также использованы и данные промывки шламовых пульп Прикарпатского месторождения. Зависимость между опытными и расчетными извлечениями показана на рис. II. Коэффициент линейной корреляции равен 0,97. Это вполне удовлетворительная сходность результатов несмотря на то, что условия промывки, характеристики оборудования, вещественный состав шламов, условия и кратность промывки X изменились в широких пределах.

Отклонение опытных данных от расчетных может быть объяснено механическими потерями и неполным выравниванием концентрации калия в растворе по ступеням. Следовательно, математическое описание ПТП, предлагаемое в настоящей работе, можно использовать при проектировании установок противоточной промывки шламов на калийных комбинатах. Это позволит значительно сократить объем опытных работ, предшествующих стадии проектирования промышленного объекта, а также определить оптимальный режим промывки на основании анализа влияния технологических параметров.

Для выбора оптимального режима промывки необходимо определить следующее (в соответствии с уравнениями (1)-(3))

1) Кинетику выщелачивания хлористого калия из шлама в рециркуляторе перед первой ступенью.

2) Зависимость между производительностью отстойной аппаратуры и степенью уплотнения шламовой пульпы в ней.

3) Закономерность уплотнения шлама в шламохранилище.

Другие опытные данные не требуются. Все эти процессы могут изучаться раздельно, что значительно облегчит проведение опытных работ.

Ниже излагаются результаты исследования этих процессов с использованием малогабаритных модельных установок.

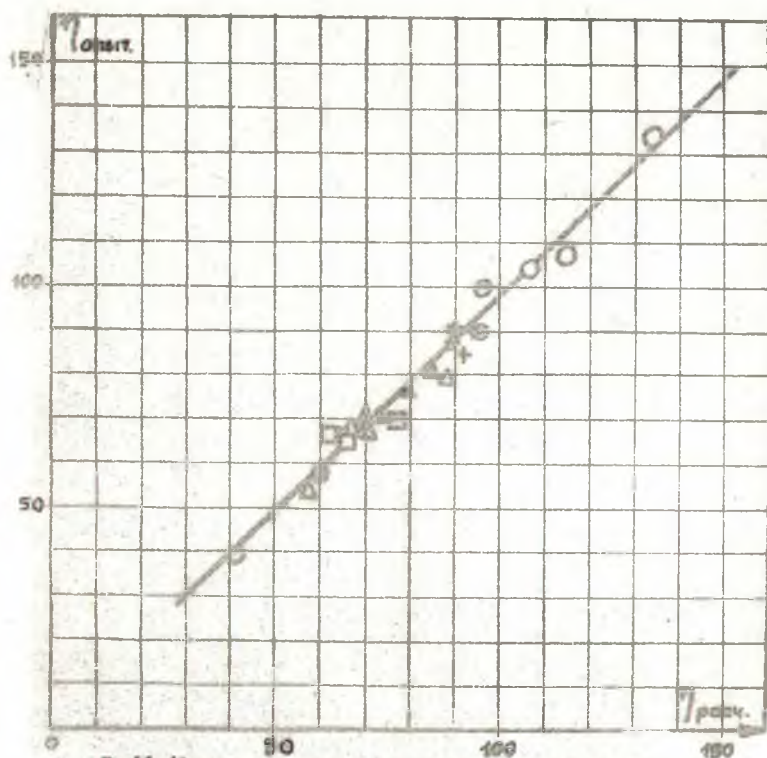


Рис. 11. Корреляция опытных и расчетных извлечений  
 полученных на различных калийных месторождениях.

○ Солігорск, лабораторная установка;

+ Стебник, 1952; □ Стебник, 1967;

△ Солігорск, опытно-промышленная установка.

## II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТСТАИВАНИЯ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ ПУЛЬП.

Струители для шламов являются весьма громоздкими и дорогими, поэтому требуемую площадь сгущения нужно определить как можно точнее. Однако, существующие лабораторные методики и расчетные формулы дают результаты часто отличающиеся между собой в несколько раз. Поэтому, возникла необходимость экспериментального количественного исследования параметров сгущения глинисто-солевых пульп. ✓

Характерным требованием к отстойникам в калийной промышленности является необходимость получения чистого шлама и максимального уплотнения выгружаемой пульпы. Производительность отстойника будет, таким образом, лимитироваться пропускной способностью либо зоны свободного осаждения, либо зоны сгущения. Такой отстойник является одновременно и осветлителем и струителем.

Для проведения опытных работ нами выбран струитель из флексила диаметром 0,113 м и высотой 1,5 м. В аппарате этой высоты моделировался процесс сгущения шлама. Однако, процесс осветления шлама, естественно, не моделировался, так как радиальная составляющая скорости потока в несколько раз меньше, чем в промышленных аппаратах.

Что касается зоны уплотнения, то сохраняя высоту промышленного отстойника, мы сохраняли и время пребывания пульпы в зоне сгущения и, тем самым, обеспечивали одинаковые с промышленным аппаратом условия для сгущения пульпы. При этом влияние стенок следовало определить экспериментально.

Анализируя факторы, влияющие на производительность струителя по шлему, обнаружили, что при прочих равных условиях она является функцией отношения  $\frac{D}{H_0}$ , где  $D$  — диаметр отстойника,  $H_0$  — высота слоя осветляемого шлама.

Обработав экспериментальные данные, получили следующую зависимость

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1}{1 + k \frac{D}{H_0}} \quad (10)$$

где  $V$  — предельная скорость восходящего потока в рассматриваемом отстойнике, м/час;

$V_0$  — предельная скорость восходящего потока в отстойнике, диаметр которого пренебрежимо мал по сравнению с диаметром рассматриваемого отстойника, м/час;

$D$  — диаметр рассматриваемого отстойника, м;

$H_0$  — высота осветленного слоя в отстойнике диаметром  $D$  у шлама струителя, м;

$k$  — экспериментальный коэффициент.



Опытные работы были проведены на описанной выше модели отстойника, на отстойниках диаметром 3,6 м и 30 м.

В результате обобщения опытных данных определено, что  $k = 0,021 \pm 0,002$  (группировались опыты с близкими Ж:Т пульпы питания и близкими расходами флокулянта).

Таким образом, даже при пересчете предельной скорости восходящего потока с модельного отстойника на отстойник диаметром 30 м погрешность не превысит 5%, что удовлетворяет требования практики.

Интересно отметить, при этом, что состав пульпы от опыта к опыту сильно менялся. Так Ж:Т пульпы колебалось от 23 до 108, содержание илов в твердой фазе от 19% до 55% и удельный расход полиакриламида от 100 до 425 г/т илов. Таким образом, уравнение (10) можно принять при отстаивании практически всех пульп, получаемых на обогатительных фабриках Солигорского месторождения. По-видимому, эта зависимость сохраняется и при отстаивании пульп для других калийных предприятий.

При необходимости получать сравнительно плотные разгрузки из отстойника его производительность может быть ограничена объемом зоны стужения. С целью выявления связи между объемом зоны стужения и степенью уплотнения выгружаемой пульпы были проведены опыты на модели отстойника при комнатной температуре.

Если обозначить через  $\tau$  условное время пребывания пульпы в зоне стужения (объем зоны стужения/расход выгружаемой пульпы), то полученную опытную зависимость между  $\tau$  и уплотнением пульпы в отстойнике можно использовать для расчета производительности промышленного отстойника по илам.

Этот вывод был экспериментально проверен на отстойнике диаметром 9 м и отстойнике диаметром 30 м. Хорошая сходимость опытных и расчетных данных показывает, что при одинаковой высоте зоны стужения и одинаковом уплотнении выгружаемой пульпы удельная производительность по твердому отстойников разных диаметров одинакова.

Интересно отметить, что при одинаковом времени стужения плотность пульпы, выгружаемой из отстойника, будет зависеть от высоты зоны стужения. Иными словами, при прочих равных условиях, производительность отстойника по твердому будет увеличиваться с увеличением его высоты до тех пор, пока это позволит пропускная способность зоны свободного осаждения.

#### IV. ДЛИТЕЛЬНОЕ УПЛОТНЕНИЕ ГЛИНИСТО-СОЛЕВОЙ ПУЛЬПЫ В ШЛАМОХРАНИЛИЩЕ.

В настоящее время отсутствуют данные для расчета уплотнения пульпы в накопительных бассейнах - шламохранилищах.

Нами изучался этот процесс в трубах разного диаметра и накопительном бассейне. Крупность частиц не превышала 0,074 мм, однако, содержание в.о. в шламe изменялось в широких пределах. На уплотнение

пульпы в трубах тормозящее действие должны были оказать стенки. Поэтому использовались трубы различного диаметра - от 0,040 м до 1,2 м. Сравнение скорости уплотнения пульпы в трубах и на шламохранилище позволило выявить тормозящее действие стенок.

Результаты проведенных исследований по уплотнению шламов в трубах показывают, что начиная с  $\tau = 10$  суток уплотнение происходит по логарифмическому закону. В опытах варьировались содержание илов в шламе и разжижение исходной пульпы. Скорости уплотнения  $b$  - тангенсы углов наклона прямых - изображены на рис. 16.

Полученные данные по длительному уплотнению шламов выражаются следующим уравнением.

$$m_k = 2,55 - b(2,55 + \frac{b}{k} \times 10^3 - 0,4343) \quad (II)$$

Наблюдения за уплотнением пульпы в шламохранилище Второго Солигорского калийного комбината, обработанные с помощью уравнения (II) позволили учесть тормозящее действие стенок труб малого диаметра и определили значения коэффициентов  $b$ , рекомендуемых для практических расчетов при проектировании и эксплуатации шламохранилищ (см. рис. 16).

Время уплотнения пульпы в трубах, диаметром 0,6 м и 1,2 м на 10% превышает время уплотнения в шламохранилище. Это позволяет рекомендовать данные, полученные в трубах диаметром более 1-2 м, для проектирования шламохранилища (определение условий минимальных потерь КСГ в век).

#### У. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОТОЧНОЙ ПРОМЫВКИ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ ШЛАМОВ.

До настоящего времени не проводились работы по автоматизации противоточной промывки шламов калийных производств. Ниже будут изложены только основные принципы контроля и регулирования ПТП шламов, учитывающие особенности технологии переработки калийных руд.

В разделе I были проанализированы статические свойства ПТП. В частности, было доказано, что необходимо добиваться максимального уплотнения пульпы по ступеням и максимальной кратности промывки X.

Переходные характеристики двухступенчатой промышленной установки (отстойники диаметром 30м) свидетельствуют о значительных трудностях управления технологическим процессом (см. рис. 18): эффект возмущений ощущается сутками. Поэтому целесообразно стабилизировать параметры процесса, что значительно облегчается стабилизацией материальных потоков в основном цикле производства.

Если из условия водного баланса фабрики определено, что избыточное количество воды, которое может поступать за фабрику, равно  $\Delta W$ , то количество воды в крепком шлоке будет равно  $W_1 = M_1 \Delta W$  (12). Учитывая уравнения (4) и (12) получаем  $\Delta W = W_1 - M_1$ . То есть, если степень

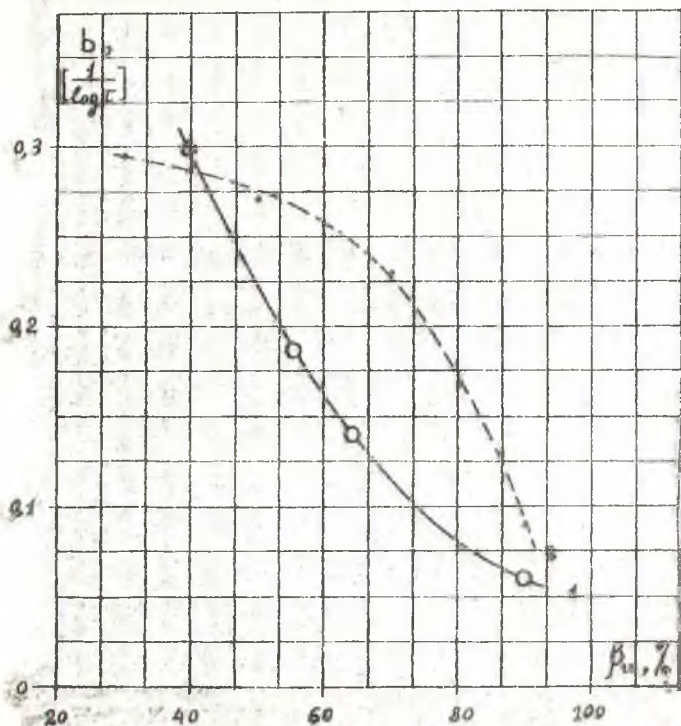


Рис. 16 Зависимость скорости уплотнения пульпы от содержания плов в шлеме.

1- по лабораторным опытам;  
2- по данным обследования шлемохранилища.

уплотнения пульпы на всех ступенях неизменна, то и  $\Delta W$  остается неизменным. Это позволяет достигнуть высокую эффективность промывки.

Таким образом, при регулировании процесса противоточной промывки шламов на калийных предприятиях необходимо стабилизировать количество промывной жидкости и степень уплотнения пульпы во всех отстойниках. Дополнительно следует контролировать мутность слива отстойников с тем, чтобы, воздействуя на расход флокулянта, избежать их загрязнения.

Если содержание калийного компонента в шламе велико, то для повышения эффективности промывка ведется с подогревом пульпы. Температуру пульпы на выходе из первого репульнатора - растворителя необходимо регулировать. При этом, если крепкий щелок поступает в процесс кристаллизации, температуру необходимо регулировать по химическому составу этого щелока; в противном случае качество кристаллизата может оказаться низким.

Максимальная степень выщелачивания хлористого калия из шлама обеспечивается автоматическим поддержанием высоких уровней пульпы в репульнаторах.

Расход воды, подаваемый в промывные шламы, автоматически стабилизируется. Задание регулятору изменяется пропорционально расходу промывных шламов с учетом имеющегося количества рассола в шламохранилище.

#### VI. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ПРОТИВОТОЧНОЙ ПРОМЫВКИ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ ШЛАМОВ.

В процессе проектирования калийного предприятия важной задачей является минимизация себестоимости готовой продукции. Поэтому необходимо определять условия максимальной прибыльности для каждого процесса переработки калийной руды.

Учитывая высокую стоимость ступенчатых ступеней важной задачей является определение числа ступеней, обеспечивающего максимальную экономическую эффективность.

Используя уравнение (5) получили следующее выражение, включающее  $N$  - оптимальное число ступеней промывки:

$$K\eta_{max} = \frac{(1 + X \frac{M_0}{M} \cdot \frac{B^N - 1}{B - 1} + \frac{M_0}{M_k} X B^N)^2}{X \left[ \frac{M_0}{M(B-1)} + \frac{M_0}{M_k} \right] B^N \ln B} \quad (13)$$

где  $K$  - отношение приведенной себестоимости хлористого калия в шламовой пульпе к сумме эксплуатационных затрат на промывку пульпы в одной ступени и отчислений с учетом нормативного срока окупаемости дополнительных капитальных затрат на промывку пульпы в одной ступени.

Б-на Стя и.а. С. П. К. 2018  
г. Минск, Октябрь 13

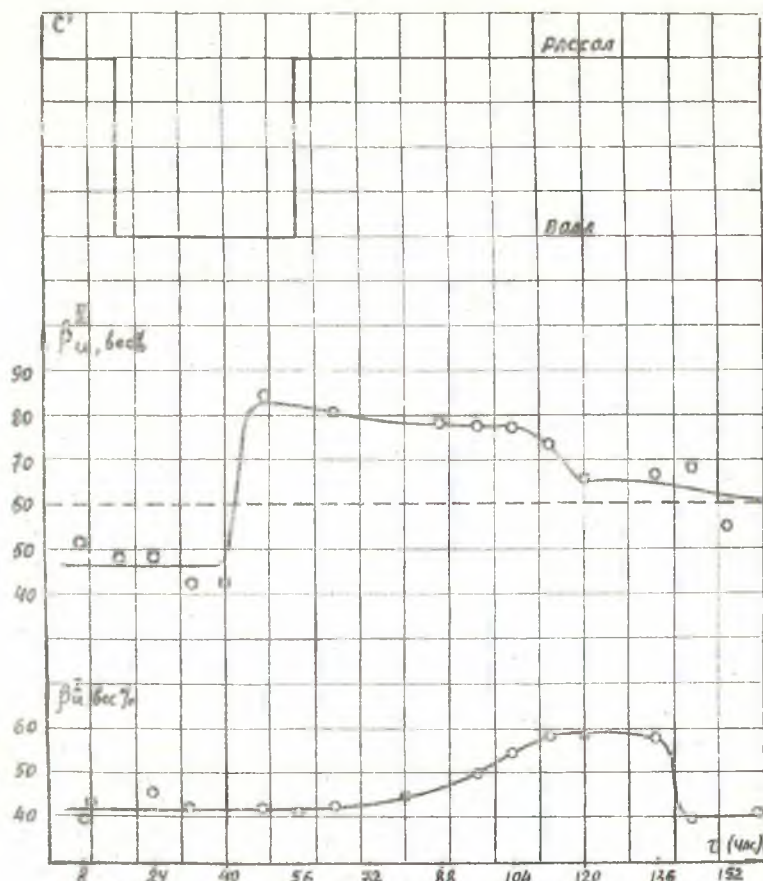


Рис 18. Переходные процессы по каналу связи  $\beta_{II}^{II}-C'$  и  $\beta_{II}^{I}-C'$  при импульсном изменении концентрации КХС в промывной жидкости.

$\beta_{II}^{II}$  - содержание илов в взгустке I ступени;  
 $\beta_{II}^{I}$  - содержание илов в промытом шламе;  
 $C'$  - концентрация КХС в промывной жидкости.

При  $X=1$  уравнение (13) запишется следующим образом

$$N = \sqrt{K\gamma_{\max} \frac{M}{M_0} - \frac{M}{M_0} - \frac{M}{M_K}} \quad (14)$$

Если, дополнительно, промывка производится водой, то

$$N = \sqrt{K\gamma_{\max} \frac{M}{M_0} - \frac{M}{M_0}} \quad (15)$$

Уравнения (13) - (15) позволяют проанализировать влияние различных факторов на оптимальное число ступеней промывки.

Расчеты, проведенные для условий Солигорских калийных комбинатов показали, что оптимальное число ступеней равно 2-3.

При флотационном методе обогащения калийных руд особенно тесная связь существует между обесшламливанием и флотацией руды и обработкой шлама. С увеличением степени обесшламливания руды уменьшается расход дорогостоящих флотационных реагентов, но при этом увеличиваются выход шлама и расходы на их обработку.

Существует оптимальный режим обесшламливания руды, при котором суммарные затраты на реагенты и на обработку шлама будут минимальными. Следует еще учитывать, что извлечение хлористого калия из мелких фракций руды при флотации невелико.

#### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Разработано математическое описание противоточной промывки шлама, учитывающее работу шламохранилища, неодинаковое уплотнение пульпы по ступеням и растворение части шлама при промывке.

2. Адекватность математического описания противоточной промывки глинисто-солевых шламов калийных предприятий подтверждена экспериментально.

Расчеты технологических параметров промывки рекомендуется вести по уравнениям (1) - (6). Основные технологические параметры можно определять по номограммам.

Анализ математического описания показывает, что при кратности промывки  $X$  меньше единицы невозможно достичь высокого извлечения полезного вещества даже при большом количестве ступеней промывки. Процесс следует вести при максимальной кратности промывки с учетом водного баланса всего цикла переработки руды.

4. Показано, что противоточная промывка шлама может протекать как в режиме "полного растворения", так и в режиме "неполного растворения".

Доказано, что при переходе от режима с полным растворением к режиму с неполным растворением извлечение калийного компонента из шламовой пульпы уменьшается, однако, не зависит от кристаллизации хлористого калия из раствора на шламохранилище и подогрева пульпы острым паром.

В режиме полного растворения оба эти фактора уменьшают эффективность промывки, поэтому, подогрев пульпы в первом репульнаторе необходимо осуществить за счет подогрева слива второй ступени в трубчатых подогревателях, аппаратах погружного горения и т.д.

На основании описания режима неполного растворения были выданы рекомендации для проектирования, подтвержденные при освоении цеха противоточной промывки шламов на Втором Солигорском калийном комбинате.

5. Математическое описание технологического процесса позволяет упростить и сократить объем опытных работ, предшествующих стадии проектирования промышленного объекта.

В соответствии с уравнениями (I) - (6) необходимо располагать опытными данными о растворении сильвинита в первом репульнаторе, о зависимости между производительностью отстойной аппаратуры и степенью уплотнения пульпы в ней, и о характере уплотнения промытой пульпы в шламохранилище. Все эти процессы можно изучать отдельно. Никаких других опытных данных не требуется.

6. Отстаивание глинисто-солевых пульп можно изучать в отстойнике диаметром 0,1-0,2 м и высотой, равной высоте промышленного отстойника.

Установлено экспериментально, что удельная производительность такого отстойника по илам равна удельной производительности промышленного отстойника, а предельная скорость слива превышает предельную скорость на промышленном отстойнике. Разработана и проверена в промышленных условиях эмпирическая формула, позволяющая пересчитать предельную скорость слива с отстойника любого данного диаметра на отстойник любого другого диаметра.

7. Доказано экспериментально, что разжижение пульпы питания отстойников противоточной промывки позволяет значительно увеличить их производительность по илам. Это использовано при проектировании цехов промывки шламов на Солигорских калийных комбинатах.

8. Определено экспериментально, что уплотнение пульпы в шламохранилище происходит по логарифмическому закону, по крайней мере, до  $\tau = 2$  года.

Получено экспериментально уравнение кинетики уплотнения промытой пульпы в шламохранилище. Им рекомендуется пользоваться для расчета уплотнения пульпы к концу эксплуатации данного участка шламохранилища.

9. Определено, что переходные процессы на установке противоточной промывки (даже двухступенчатой) длятся многими часами и даже сутками. Это значительно затрудняет управление технологическим процессом.

Определены основные параметры контроля и принципы регулирования противоточной промывки глинисто-солевых шламов калийных производств.

10. Разработан метод расчета экономически оптимального числа ступеней промывки.

11. Настоящая работа проведена для Солигорских калийных комбинатов. Но основные выявленные закономерности и методики расчета применимы для других калийных предприятий.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В. В. ВЯЗОВОВ, В. Н. АВИЛОВ. Метод расчета противоточной промывки шламов. Сб. "Промышленность горнохимического сырья и природных солей", М., 1968, вып. 3.

2. В. Н. АВИЛОВ. Принципы регулирования процесса противоточной промывки глинисто-солевого шлама. Сб. "Промышленность горнохимического сырья и природных солей", М., 1969, вып. 2.

3. В. Н. АВИЛОВ, В. А. КУБАСОВ, Л. В. РОМАНОВИЧ, Р. С. РЕЗНИКОВА. Опыт пуска и освоения цеха противоточной промывки глинисто-солевого шлама на Втором Солигорском калийном комбинате. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции молодых геологов, "Химия", 1969.

4. В. В. ВЯЗОВОВ, В. Н. АВИЛОВ. Аналитическое и экспериментальное исследование противоточной промывки глинисто-солевых шламов по схеме с накопительным бассейном и выбор оптимального числа ступени промывки. Сб. "Технология переработки и обогащения горнохимического сырья", "Химия" (в редакции).

5. В. В. ВЯЗОВОВ, В. Н. АВИЛОВ. Исследование осветления оборотных щелоков и сгущения глинисто-солевых пульп калийных предприятий. Сб. "Технология переработки и обогащения горнохимического сырья", "Химия", (в редакции).

6. В. В. ВЯЗОВОВ, В. Н. АВИЛОВ, М. А. ГАМИЛОВ, В. А. КУБАСОВ, В. А. ШЕРЕМЕТ, Р. С. РЕЗНИКОВА, Л. В. РОМАНОВИЧ. Опыт освоения цеха противоточной промывки глинисто-солевого шлама на Втором Солигорском калийном комбинате. Изд. АН БССР, (в печати).

По материалам диссертации автором сделаны доклады на Всесоюзной научно-технической конференции молодых геологов (г. Ленинград, 1969 г.) и на Всесоюзном научном семинаре по проблеме "Обогащение калийных руд" (г. Минск, 1969 г.).



ЛТ 35,334,звк.297 тпр. 150 экз.

Подписано и печати 10.12.70г.

БТИ им. С.М.Кирова г.Минск,ул.Свердлова 13