

546  
+ M27

Зачислен  
СМ - 008 000

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт  
им. С.М. Кирова

На правах рукописи

Аспирант А.Д. Маркин

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ДРОБЛЕНИЯ И  
РАЗДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРИРОДНЫХ СОЛЕЙ

(Специальность-340. Технология  
неорганических веществ)

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

Минск - 1968 г.

+ 546  
M27

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт  
им. С.М. Кирова

КНЧ

На правах рукописи

Аспирант А.Д. Маркин

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ДРОБЛЕНИЯ И  
РАЗДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРИРОДНЫХ СОЛЕЙ

(Специальность-340. Технология  
неорганических веществ)

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

Минск - 1968 г.

УЧЕБНО-НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

4761 ар

Работа выполнена в лаборатории калийных солей  
и минеральных удобрений Института общей и не-  
органической химии АН БССР

Научные руководители: доктор технических  
наук, профессор БАРОН Л.И.,  
кандидат технических наук АЛЕКСАНДРОВИЧ Х.М.

Официальные оппоненты: доктор технических  
наук, профессор ПЕЧКОВСКИЙ В.В.,  
кандидат химических наук, старший научный  
сотрудник АКУЛОВИЧ В.М.

Внешний рецензент - Уральский научно-иссле-  
довательский химический институт (УНИИХим)

Автореферат разослан *21 февраля* 1969 г.

Защита диссертации состоится *9 апреля* 1969 г. на  
заседании Совета Белорусского технологического институ-  
та им. С.М. Кирова, г. Минск, ул. Свердлова, 13а,  
220 аудитория (4-й корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
института.

Отзывы в 2 экземплярах просим присылать по адресу:  
г. Минск, ул. Свердлова, 13а - БТИ им. С.М. Кирова,  
ученому секретарю совета.

Ученый секретарь  
совета

*Налица* (БЛИНЦОВА Н.П.)

Одним из важнейших процессов в технологии переработки руд является дробление полезного ископаемого. Оно обеспечивает возможность проведения дальнейших технологических операций и рационального использования готового продукта. В настоящее время дробление, как правило, проводится механическим методом, при котором к дробимому телу прилагаются усилия за счет энергии движения дробящего тела. Существенным недостатком этого метода, применительно к соляным рудам, является отсутствие достаточной избирательности дробления отдельных компонентов и их переизмельчение.

Разработка методов избирательного дробления является важной народнохозяйственной задачей. И.Н. Плаксин указывает на задачу избирательного дробления, как на наиболее перспективную в числе других для развития теории и практики обогащения полезных ископаемых.

В каменно-соляной промышленности при дроблении вместе с чистой каменной солью происходит измельчение относительно крупных образований примесей нерастворимого в воде остатка (н.о.) и ангидрита, существенно снижающих качество готовой продукции. Для удаления этих примесей практикуется ручная рудоразборка, малоэффективный и трудоемкий процесс. Переизмельчение каменной соли затрудняет процессы фасовки и повышает слеживаемость готового продукта. Исследования с целью замены ручной рудоразборки механизированным процессом очистки каменной соли от примесей проводятся во ВНИИГ (Е.А. Смирнов и др.) и УкрНИИСоли (И.Е. Шакланов, О.К. Журид и др.).

При дроблении сильвинитовых руд вместе с полезным компонентом (КСИ) происходит измельчение балластной галитовой породы, доля которой в сильвинитовых рудах составляет ~ 70-80%. Галитовая порода вместе с сильвином подвергается сложной технологической переработке с целью их разделения. Переизмельчение сильвинитовых руд ведет к ухудшению технологических процессов (сгущения, фильтрации, избирательности флотации и др.). Исследования в области избирательного дробления сильвинитовых руд механическим методом проводятся Н.С. Алимовым (ВНИИГ).

Для термического процесса дробления соляных пород, разработке основ которого посвящена настоящая работа, характерна при определенных условиях высокая избирательность дробления компонентов соляных пород и незначительное пылеобразование.

Литературные данные о термическом дроблении соляных пород ограничены лишь указанием на способность каменной соли самоизмельчаться при нагревании.

Целью настоящей работы является установление основных закономерностей термического дробления каменной соли, определение термической дробимости структурных разновидностей компонентов соляных пород, исследование некоторых процессов, протекающих при нагревании в соляных породах, и установление основных предпосылок, позволяющих в первом приближении решить вопрос о целесообразности применения термического метода в практике.

При выполнении работы автором проведены многочисленные лабораторные эксперименты, эксперименты с укрупненными партиями соляных пород на полупроизводственной установке и произведены некоторые экономические расчеты. Специфика работы потребовала выполнения значительного числа химических анализов, исследований влаго- и газовыделения при нагревании образцов соляных пород в вакуумной установке, микроскопических и петрографических исследований.

На базе экспериментальных исследований получены общие закономерности термического дробления каменной соли и показана возможность использования этого процесса в практике для разделения некоторых компонентов соляных пород хлоридного типа.

### Закономерности термического дробления каменной соли

Термический метод дробления полезных ископаемых основывается на способности некоторых минералов, в том числе и каменной соли, самоизмельчаться при нагревании. Самоизмельчение кусков вызывается температурными напряжениями, которые возникают в результате процессов, протекающих в породе при увеличении температуры нагрева.

Гранулометрический состав материала после термического

дробления определяется многими факторами, к которым в первую очередь относятся температура нагрева, исходная крупность и минералогический состав породы, а также ее текстурные и структурные особенности.

Для природных солей характерна значительная вариация их состава, а также текстурных и структурных характеристик. Это вызвало определенные трудности при подборе проб соляной породы для изучения основных закономерностей термического дробления солей и определило необходимость применения некоторых элементов математической статистики при обработке результатов исследований.

Закономерности термического дробления каменной соли изучались на практически мономинеральных образцах соли скелетно-зонального строения Артемовского месторождения. При этом было установлено, что эффективность термического дробления зависит от температуры нагрева и крупности кусков исходной каменной соли.

На рис. 1 представлены кривые изменения процентного содержания неразрушенных исходных агрегатов  $\epsilon_{\text{нер}}$  в зависимости от температуры нагрева  $T$  при термическом дроблении проб галита разной крупности.

Кривые показывают, что при нагреве проб любой исходной крупности (в исследованном диапазоне значений ее) сверх  $500^{\circ}$  содержание неразрушенных исходных агрегатов галита оставалось практически постоянным. Чем меньше исходная крупность, тем более высоким по абсолютной величине оставалось конечное содержание неразрушенных агрегатов.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила сформулировать следующую зависимость конечного содержания неразрушенных агрегатов  $\epsilon_{\text{нер}}$  (в процентах) после нагревания до  $500^{\circ}$  от исходной крупности  $D_{\text{исх}}$  (в миллиметрах):

$$\lg \epsilon_{\text{нер}} = 2,212 - 0,097 \cdot D_{\text{исх}} \quad (I)$$

Данная эмпирическая зависимость, имеющая линейный характер, справедлива для исследованного диапазона значений исходной крупности материала. График ее представлен на рис. 2, на котором нанесены экспериментальные точки. Отклонения последних, как

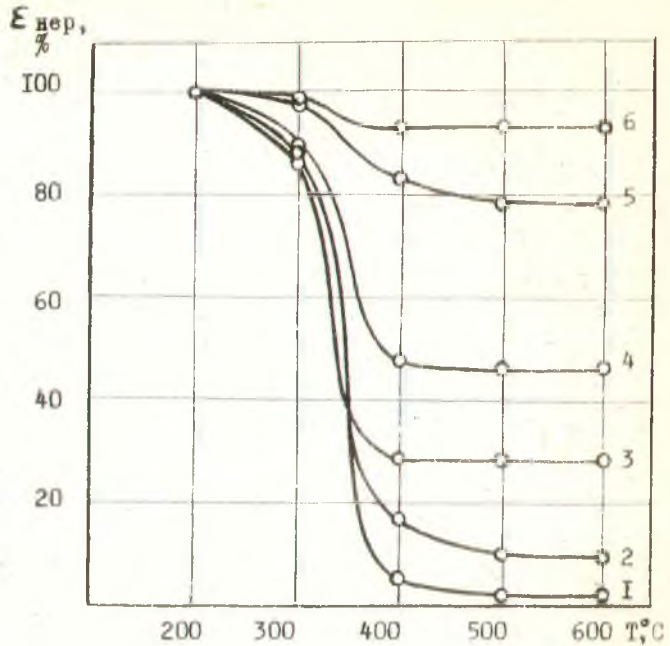


Рис. 1. Зависимости содержания неразрушенных исходных агрегатов ( $E_{\text{нер}}$ ) от температуры нагрева ( $T$ ) при термическом дроблении галита с исходной крупностью, мм:  
1 - (-25+15); 2 - (-15+10); 3 - (-10+7); 4 - (-7+5);  
5 - (-5+3); 6 - (-3+0)

видим, весьма незначительны.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что с уменьшением исходной крупности галита эффективность процесса термического дробления существенно снижается. Нетрудно подсчитать, что согласно формуле (1) при  $D_{\text{исх}} = 2,2$  мм, значение логарифма  $E_{\text{нер}}$  станет равным 2. Это будет означать, что содержание неразрушенных исходных агрегатов достигнет 100%, т.е. при столь мелком исходном материале термическое дробление галита практически не будет иметь места. Ничего парадоксального в этом,

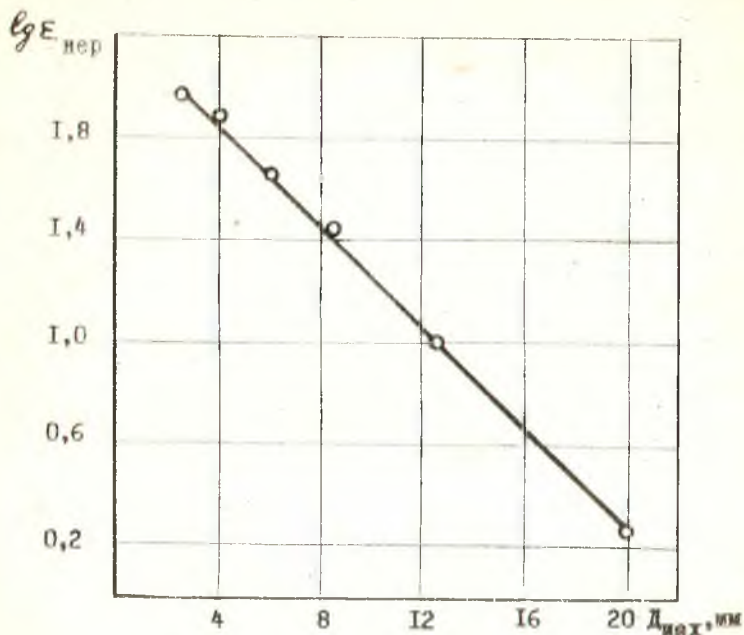


Рис.2. Изменение значений логарифма процентного содержания неразрушенных агрегатов ( $E_{нер}$ ) после нагревания до  $500^{\circ}$  в зависимости от исходной крупности галита ( $D_{исх}$ )

однако, нет. Наблюдения показывают, что раскалывание кусочков галита при нагревании обусловлено давлением паров, образующихся в замкнутых макро- и микровключениях рапы, содержащихся в минерале. Чем тоньше диспергированным будет исходный галит, тем меньше в нем сохранится замкнутых полостей с включениями ма- точной рапы.

Из приведенного выше выражения (1) следует, что зависимость для определения процентного выхода разрушенного материала  $E_{раз}$  при термическом дроблении галита с различной исход-



ной крупностью  $D_{исх}$  (в миллиметрах) может быть применительно к рассматриваемым нами условиям сформулирована в следующем виде:

$$lg(100 - \varepsilon_{разр}) = 2,212 - 0,097 \cdot D_{исх} \quad (2)$$

Данная формула может служить расчетной. Коэффициент вариации экспериментальных точек относительно даваемых ею результатов составляет, как показали произведенные расчеты, 9-11%.

Для практических приложений важно знать также среднюю крупность продуктов термического дробления. В связи с тем, что получаемый продукт состоит из частиц небольших размеров, целесообразно воспользоваться в качестве основного критерия оценки крупности так называемым средним обратным диаметром. Кривые, показывающие изменение среднего обратного диаметра дробленого продукта ( $D_{кон}$ ) в зависимости от температуры нагрева ( $T$ ) при термическом дроблении галита с различной исходной крупностью ( $D_{исх}$ ), приведены на рис. 3. Сопоставление кривых наглядно свидетельствует о том, что с уменьшением исходной крупности средний обратный диаметр получаемого продукта изменяется по мере возрастания температуры нагрева все менее резко. Для наиболее мелких фракций это изменение становится несущественным.

Из сказанного выше вытекает, что с ростом исходной крупности галита, степень термического дробления должна возрастать. Интенсивность указанного роста, однако, будет существенно неодинаковой при различных температурах нагрева. Об этом свидетельствуют построенные по результатам экспериментов и приведенные на рис. 4 графики изменения значений  $\zeta$  в зависимости от исходной крупности  $D_{исх}$  для двух температур нагрева:  $300^{\circ}$  - прямая 1 и  $500^{\circ}$  - прямая 2. Как видим, при нагреве до  $300^{\circ}$  степень измельчения галита с ростом его исходной крупности увеличивается очень мало, при температуре же  $500^{\circ}$  значения  $\zeta$  по мере роста  $D_{исх}$  возрастают по довольно крутой линейной зависимости. Последняя, как показал анализ, удовлетворительно выражается простейшей эмпирической формулой:

$$\zeta = 0,5 \cdot D_{исх} \quad (3)$$

Величина  $D_{исх}$  здесь также измеряется в миллиметрах.

Таким образом, эффективность термического дробления скелетно-зональной каменной соли зависит от температуры нагрева

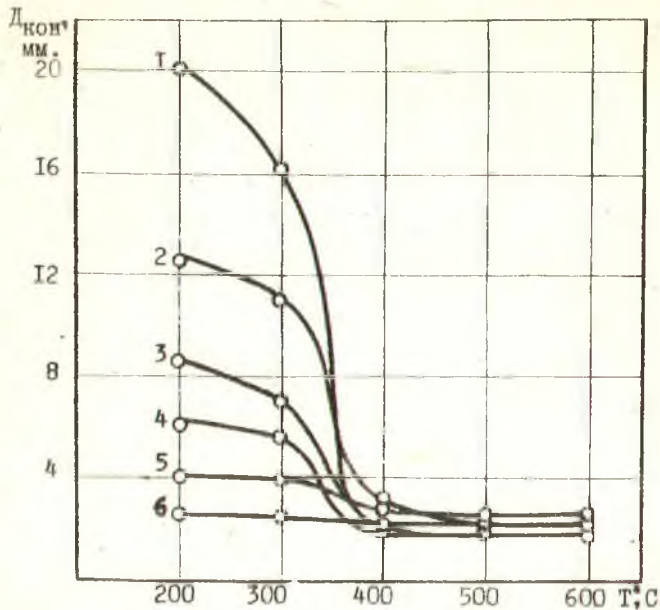


Рис. 3. Зависимости среднего обратного диаметра дробленого продукта ( $D_{\text{кон}}$ ) от температуры нагрева ( $T$ ) при термическом дроблении галита с исходной крупностью, мм: 1 - (-25+15); 2 - (-15+10); 3 - (-10+7); 4 - (-7+5); 5 - (-5+3); 6 - (-3+2)

и ее исходной крупности. Наибольшая степень дробления наблюдается при ее нагревании до температуры  $500^{\circ}$  и выше. С увеличением крупности каменной соли степень термического дробления увеличивается по линейной зависимости. При этом логарифм выхода дробленого продукта связан с исходной крупностью галита прямолинейной зависимостью.

Исследования термической дробимости каменной соли скелетно-зонального строения отечественных месторождений с исходной крупностью кусков более 25 мм показали, что мономинаральные

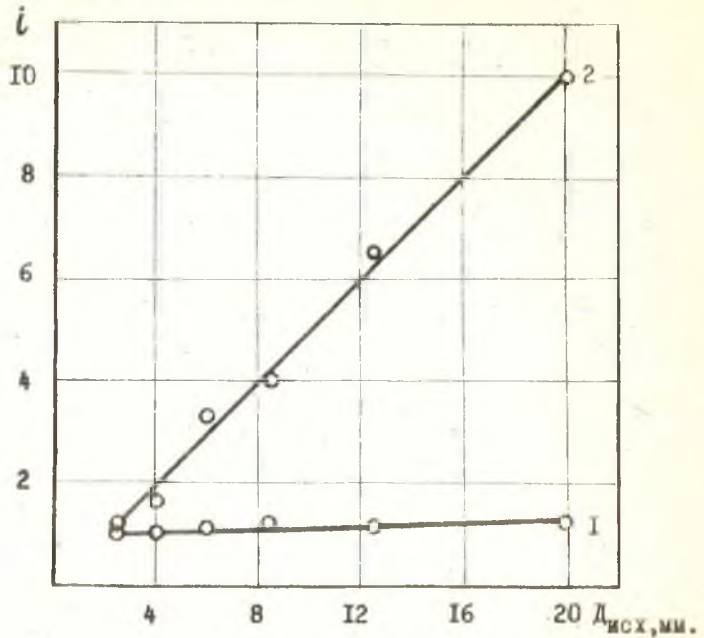


Рис. 4. Изменение степени измельчения  $i$  в зависимости от исходной крупности галита  $D_{исх}$  при температурах нагрева: 1 - 300°; 2 - 500°

куски соли самоизмельчаются при температуре нагрева 500° до частиц размером менее 10 мм. При термическом дроблении происходит распад кусков на отдельные зерна и их сростки. Дробление самих зерен идет лишь в незначительной степени. В результате термического дробления имеет место лишь незначительное пылеобразование. Иллюстрацией этого может служить таблица I.

Выше приведенные эмпирические формулы справедливы лишь для термического дробления мономинеральной каменной соли скелетно-зонального строения. Примеси н.о. и ангидрита, различная степень перекристаллизации галитовых зерен существенно влияют на результаты термического дробления и искажают эти зависимости.

Таблица I

Гранулометрический состав Нахичеванской каменной соли с исходной крупностью -40+25 мм после нагревания до температуры 500°

Класс крупности, мм	Выход частный %	Выход суммарный, %	
		по +	по -
+10	0	0	0
-10+7	9,46	9,46	100,00
-7+5	19,01	28,47	90,54
-5+3	27,87	56,34	71,53
-3+2	18,52	74,86	43,66
-2+1	17,43	92,29	25,14
-1+0,5	4,15	96,44	7,71
-0,5+0	3,56	100,00	3,56

Примеси н.о. и ангидрита не обладают свойством термического дробления и способствуют меньшей термической дробимости каменной соли.

На рис. 5 приведены кривые суммарного выхода надрешетного продукта после термического дробления каменной соли с различным содержанием примесей в зависимости от размера отверстий сита. Для кусков с большим содержанием примесей характерен после термического дробления более высокий выход крупных частиц.

Количественной зависимости степени измельчения от содержания н.о. и ангидрита установить не удалось, так как распределение примесей в кусках каменной соли отличается большим многообразием.

#### Кинетика термического дробления каменной соли

Длительность процесса термического дробления каменной соли во времени является важным технологическим параметром. В связи с этим нами были проведены экспериментальные определения времени нагревания, необходимого для полного самораздробления каменной соли при различных конечных температурах нагрева печи и для различных значений крупности (веса одного куса) исходного материала.

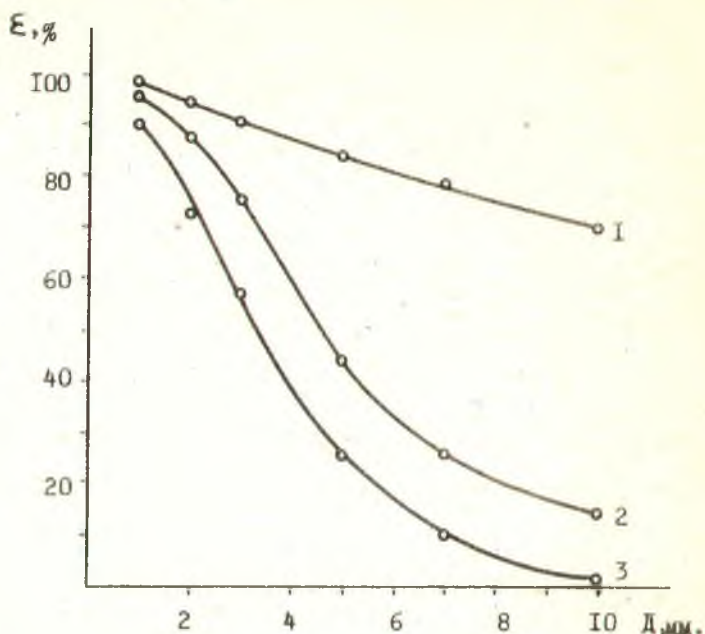


Рис. 5. Зависимость суммарного выхода надрешетного продукта (  $E$  ) после термического дробления каменной соли с различным содержанием примесей (н.о. + ангидрит) от размера отверстий сита (  $D$  ): 1 - содержание примесей 42,85%; 2 - 2,76%; 3 - 1,79%

Опытами с образцами каменной соли Старобинского, Верхнекамского и Артемовского месторождений было установлено, что существенного различия в кинетике самораздробления каменной соли этих месторождений не имеется.

На рис. 6 представлены зависимости времени нагревания, необходимого для самораздробления каменной соли, от веса единичного куска для температур 600, 700 и 800°.

Указанные зависимости выражаются прямыми линиями, матема-

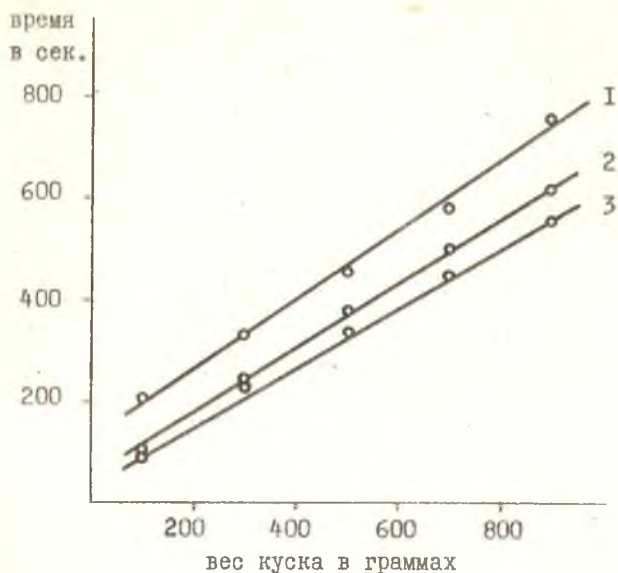


Рис. 6. Зависимости времени нагревания, необходимого для самораздробления каменной соли от веса единичного куска для температур: I - 600°; 2 - 700°; 3 - 800°

гическая обработка которых позволила сформулировать их в следующем общем виде:

$$t = K g + C \quad (4),$$

где  $t$  - время нагревания, необходимое для самораздробления каменной соли, сек;

$g$  - вес единичного куска, г;

$K$  - константа, зависящая от температуры нагрева печи и равная для температур 600, 700 и 800° соответственно 0,70; 0,65 и 0,59 сек/г;

$C$  - константа, зависящая от температуры нагрева печи и равная для температур 600, 700 и 800° соответственно 130, 35 и 31 сек.

Формула (4) может служить расчетной. Коэффициент вариации экспериментальных точек относительно даваемых ею результатов составляет, как показали произведенные расчеты, 22,3%.

#### Термическое дробление структурных разновидностей каменной соли и сильвинита

Соляные породы, слагающие месторождения солей, обычно неоднородны по своему петрографическому составу. Почти каждый соляной минерал находится в них в виде нескольких различных по своей структуре разновидностей. Проведенные наблюдения показали, что эти структурные разновидности самораздробляются при нагревании в различной степени. Это оказывает существенное влияние на результаты термического дробления соляных пород таких месторождений.

Исследования показали, что различные структурные разновидности каменной соли и сильвинита отличаются друг от друга количеством, величиной и распределением макро- и микровключений маточной рапы. Свойство самоизмельчаться при нагревании, как правило, характерно для разновидностей, имеющих достаточное количество включений маточной рапы, расположенных внутри зерен (кристаллов) соляного минерала.

Были исследованы следующие наиболее распространенные разновидности каменной соли: скелетно-зональной (зонально-зернистой) структуры, микро- и мелкогранобластовой структуры (песчаниковидный галит), среднегранобластовой структуры и крупногранобластовой структуры (гигантозернистый галит). Из этих разновидностей лишь каменная соль со скелетно-зональной структурой и гигантозернистый галит способны самоизмельчаться при нагревании. Остальные разновидности, как правило, не обладают свойством термического дробления.

Исследование термической дробимости сильвинитовых образцов Старобинского и Верхнекамского месторождений показало, что некоторые структурные разновидности сильвинита способны самоизмельчаться при нагревании. Наиболее значительно это свойство

характерно для сильвинита скелетно-зональной структуры (сильвинит летней садки) и для молочно-белого сильвина. Их термическая дробимость близка к термической дробимости каменной соли скелетно-зонального строения.

Красные сильвиниты без скелетно-зонального строения зерен и волокнистый сильвинит, как правило, имеют лишь очень мелкие включения маточной рапы в зернах и небольшое их количество. Как показали опыты, эти разновидности сильвинита не обладают свойством термического дробления.

Структура соляных минералов, а следовательно, и наличие включений маточной рапы в зернах минералов, в значительной степени определяются генезисом минералов. Исходя из этого, можно заключить, что между свойством термического дробления и генезисом минералов имеется определенная связь.

#### Исследование некоторых процессов, протекающих при нагревании соляных пород

С целью выяснения причин термического дробления вышеуказанных структурных разновидностей соляных минералов и отсутствия такового у других было проведено исследование влаго- и газовыделения при нагревании образцов этих разновидностей.

Исследования показали, что для образцов, самораздробляющихся при нагревании, характерно наличие на дифференциальных кривых "выделение влаги - температура нагрева" максимума, соответствующего интервалу температур, в котором происходит наиболее интенсивное самораздробление образца. Для образцов, неразрушающихся при нагревании, характерен более плавный ход вышеуказанных кривых.

Образцы соляных минералов, содержащие повышенное количество н.о., дают кривые выделения влаги в зависимости от температуры нагрева близкие по виду к аналогичным кривым выделения влаги из соляной глины.

Что касается выделения газов из образцов соляных минералов при их нагревании, то следует отметить, что интенсивность выделения газов не связана с интенсивностью самоизмельчения.

Таким образом, самоизмельчение при нагревании соляных



минералов вызывается напряжениями, возникающими за счет давления водяных паров во включениях маточной рапы в зернах минералов. Напряжения, возникающие из-за давления включенных газов, имеют при термическом дроблении подчиненное значение. Однако, влагосодержание не является достаточным условием самоизмельчения соляной породы при ее нагревании, так как образцы соляных минералов, содержащие повышенное количество н.о., выделяют при нагревании большое количество влаги и тем не менее, самоизмельчаются, как правило, в меньшей степени или совсем не разрушаются при нагревании.

Необходимым условием термического дробления является наличие в зернах минерала герметично включенной влаги. Герметичность включений должна сохраняться и при повышенных температурах вплоть до температуры интенсивного самоизмельчения. Это положение сформулировано нами на основании экспериментальных данных, полученных при изучении влаговыделения при нагревании образцов различных структурных разновидностей каменной соли и сильвинита, и при наблюдениях под микроскопом изменений включений маточной рапы при нагревании прозрачных монокристаллов каменной соли.

Исследование влияния предварительного измельчения каменной соли на ее влагосодержание показало, что с уменьшением исходной крупности каменной соли количество выделяющейся при нагревании влаги резко уменьшается. Это является одной из причин малой термической дробимости мелких классов каменной соли. Кроме того, с уменьшением исходной крупности увеличивается доля включений, расположенных вблизи от поверхности частиц каменной соли. Нами показано, что эти включения практически не принимают участия в термическом дроблении.

#### Термическое дробление каменной соли как метод ее очистки от примесей н.о. и ангидрита

Применение термического метода для избирательного дробления каменной соли с последующим выделением части примесей грохочением при определенных условиях может быть весьма эффективно как с технологической, так и с экономической точек зрения.

Избирательность термического метода дробления каменной соли изучалась на образцах Артемовского, Верхнекамского, Нахичеванского и Старобинского месторождений.

Избирательность термического дробления каменной соли в значительной степени зависит от характера вкрапленности примесей в каменную соль. Очевидно, что при тонкой и равномерной их вкрапленности в зерна и между зернами галита нельзя ожидать сколь-нибудь значительной избирательности дробления, так как при дроблении термическим методом происходит распад кусков каменной соли преимущественно до зерен и их сростков. В результате этого извлечение примесей в различные классы крупности после термического дробления такой каменной соли прямо пропорционально выходу классов крупности.

На практике нередко для получения соли, отвечающей требованиям ГОСТ, необходимо отделять крупновкрапленные в нее н.о. и ангидрит, которые находятся в массе соли в виде гнезд, желваков, прослоев или лучей. Как уже указывалось выше, для этого на соляных предприятиях нередко применяют ручную рудо-разборку.

Опыты с каменной солью, имевшей такие вкрапления примесей, показали, что в этом случае наблюдается наибольшая избирательность термического дробления. В таблице 2 приведены результаты термического дробления образцов крупных (более 10 мм) включений примесей. По периферии этих включений наблюдалась каменная соль с тонковкрапленными н.о. и ангидритом по границам зерен. При нагревании самораздробилась лишь часть каменной соли с тонковкрапленными н.о. и ангидритом, в то время как включения ангидрита и н.о. полностью сохранили свою целостность.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что нагревание относительно чистой кусковой каменной соли до температуры 500° сопровождается ее самораздроблением в основном до крупности менее 10 мм, в то время как крупные включения (гнезда, прослои и др.) н.о. и ангидрита сохраняют свою целостность. Очевидно, что при нагревании до этой температуры каменной соли, загрязненной крупными включениями

н.о. и ангидрита, основная часть примесей сконцентрируется в крупных (+10 мм) классах, а мелкие классы будут представлять относительно чистую каменную соль. Проведя классификацию материала после термического дробления, можно отделить значительную часть примесей и тем самым повысить качество каменной соли.

Таблица 2

Характеристика образцов Артемовской каменной соли с содержанием примесей 38,83% после термического дробления

Класс крупности, мм	Выход класса, %	Содержание н.о.+ ангидрит, %	Извлечение н.о. + ангидрит, %
+10	70,04	50,32	91,23
-10+7	8,37	15,25	3,29
-7+5	5,30	10,65	1,45
-5+3	6,89	11,13	1,97
-3+2	3,42	7,45	0,66
-2+1	3,78	6,89	0,67
-1+0,5	0,85	7,22	0,16
-0,5+0	1,35	16,27	0,57
Исходная соль	100,00	38,83	100,00

Исследования, проведенные с Нахичеванской каменной солью, имеющей крупные включения примесей, показали, что термический метод может быть применен для очистки соли этого месторождения.

На рис. 7 приведены частная характеристика по выходам крупности, содержанию и извлечению примесей в отдельные классы крупности образцов, имеющих такие включения примесей, после термического дробления. Ординаты, определяющие выхода классов крупности, содержание и извлечение примесей соответствуют нижнему пределу крупности. Среднее содержание приме-

сей в этих образцах было равно 18,05%.

Как видим, после термического дробления данных образцов наибольшее содержание примесей наблюдалось в классе крупности +10 мм. С уменьшением величины частиц соли содержание примесей резко уменьшалось.

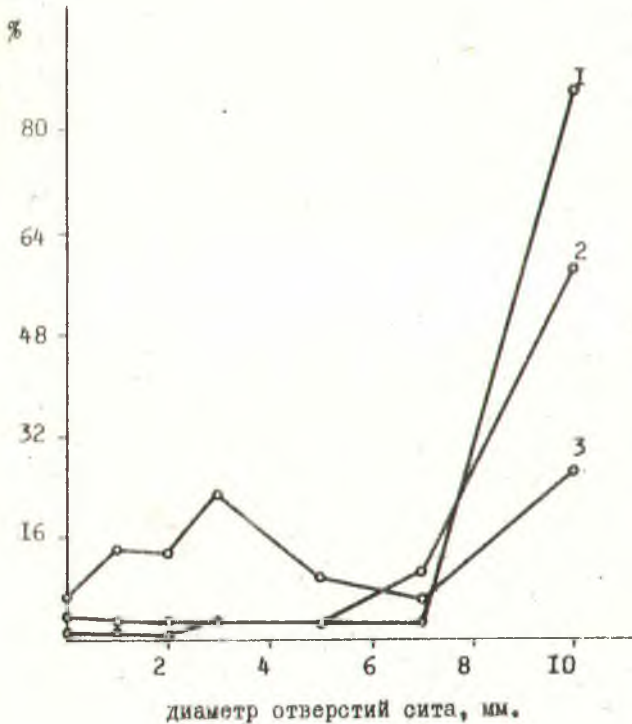


Рис. 7. Частная характеристика образцов после термического дробления по выходам классов крупности (3), содержанию (2) и извлечению (I) в них примесей.

Основные предпосылки, обеспечивающие высокие технологические показатели термического метода очистки каменной соли от примесей н.о. и ангидрита, можно сформулировать в следующем виде:

1. Каменная соль в основном должна быть сложена зернами галита со скелетно-зональным строением зерен.

2. Значительная часть примесей н.о. и ангидрита должна быть сконцентрирована во включениях размером более 10 мм.

Опыты по очистке каменной соли от примесей, проведенные нами на укрупненной партии Артемовской соли в условиях при - близких к промышленным, показали целесообразность применения термического метода для этой цели. Термическое дробление соли проводилось во вращающейся барабанной печи диаметром 80 см, длиной 8 м, футерованной огнеупорным кирпичом. Скорость вращения барабана печи была равна 1,6 об/мин. Время пребывания соли в печи от начала загрузки до ее выхода составляло 20-25 мин, температура нагрева соли  $-500^{\circ}$ . Вес соли в каждой партии был равен 1,5 т. Результаты этих опытов представлены в таблице 3.

Из таблицы видно, что термическим дроблением во вращающейся печи каменной соли с содержанием примесей, превышающим в два с лишним раза нормы ГОСТ, можно получить классы крупности соли ( $-3+2$  и  $-2+1$  мм) с содержанием примесей в пределах требований к соли 2-го сорта.

Во второй партии кондиционной по содержанию примесей оказалась вся соль крупностью менее 7 мм.

Таким образом, термическим дроблением каменной соли, загрязненной примесями н.о. и ангидрита и последующим ее грохочением можно отделить в класс  $+10$  мм значительную часть примесей и тем самым повлиять на качество соли. Существенным достоинством термического метода очистки каменной соли является то, что готовый продукт обладает практически нулевой влажностью, результатом чего является более высокое содержание полезного компонента. Кроме того, абсолютно сухая соль обладает меньшей слеживаемостью и более высокой сыпучестью, что существенно важно при расфасовке и последующем исполь-

Таблица 3

Результаты термического дробления Артемовской каменной соли во вращающейся печи

Партия соли	Класс крупности после обжига, мм	Выход, %	Содержание н.о.+ ангидрит, %	Извлечение н.о.+ ангидрит, %
I	+10	12,96	42,72	56,13
	-10+7	6,74	11,72	8,01
	-7+5	12,62	6,83	8,74
	-5+3	26,78	4,27	11,59
	-3+2	16,45	3,37	5,63
	-2+1	16,62	3,58	6,03
	-1+0,5	2,97	4,38	1,32
	-0,5+0	4,86	5,18	2,55
Исходная соль		100,00	9,86	100,00
II	+10	12,53	43,96	61,60
	-10+7	5,88	10,43	6,86
	-7+5	11,32	6,24	7,90
	-5+3	25,15	3,23	9,08
	-3+2	17,41	2,66	5,19
	-2+1	20,76	2,71	6,29
	-1+0,5	2,60	2,69	0,78
	-0,5+0	4,35	4,72	2,30
Исходная соль		100,00	8,94	100,00

зовании готовой продукции.

Термическое дробление сильвинитовых руд,  
как метод предварительного обогащения

Избирательность термического метода дробления сильвинитовых руд изучалась на образцах сильвинита 2-го калийного гори-

зонта Старобинского месторождения и пласта Кр. П Верхнекамского месторождения. Исследования показали, что она существенно зависит от наличия и соотношения различных структурных разновидностей сильвинита и галита в сильвинитовой руде. Наибольшей избирательности термического дробления следует ожидать в том случае, если куски сильвинитовой руды состоят из таких разновидностей галита, которые наиболее значительно отличаются от разновидностей сильвинита по способности к термическому дроблению. Наоборот, при отсутствии существенной разницы при термическом дроблении галита и сильвинита нельзя ожидать сколь-нибудь значительной избирательности.

Исследования позволили сформулировать следующие основные предпосылки, при которых термический метод дробления может быть успешно применен для обогащения сильвинитовых руд:

1. Сильвинитовые пласты должны иметь слоистую структуру при толщине отдельных прослоев сильвинита не менее 10 мм.

2. Основная часть (более 90%) сильвина в пласте должна быть сконцентрирована в сильвинитовых прослоях.

3. Сильвинитовые прослои в основном должны быть сложены красным сильвинитом без скелетно-зонального строения зерен.

4. Галитовые прослои должны быть сложены зернами галита со скелетно-зональным строением (галитом летней садки). Содержание н.о. не должно превышать 3-5%.

Исследования показали, что по текстурным и структурным особенностям сильвинитовая порода пласта Кр. П Верхнекамского месторождения в значительной степени, хотя и не полностью, отвечает вышеперечисленным предпосылкам. Исследования термического дробления этой породы показали относительно высокую избирательность дробления. В таблице 4 представлены результаты термического дробления партии руды этого пласта, весом в 3т, во вращающейся печи.

Как видим, содержание КСІ в классе +50 мм возрастает по сравнению с исходной рудой примерно в два раза при извлечении его в этот класс более 70%. В мелких классах (-3 мм) содержание КСІ уменьшается до 6-7% при извлечении его до 8,1%.

Таблица 4

Результаты термического дробления во вращающейся печи сильвинитовой руды пласта Кр. П Верхнекамского месторождения

Класс крупности, мм	Выход класса, %	Содержание KCl, %	Извлечение KCl, %
+50	38,9	55,2	72,3
-50+10	12,2	30,4	12,2
-10+5	8,7	13,0	3,8
-5+3	8,1	13,4	3,6
-3+2	9,7	9,8	3,2
-2+1	13,6	7,2	3,3
-1+0,5	4,1	6,2	0,9
-0,5+0,25	3,3	4,1	0,5
-0,25	1,4	4,5	0,2
Исходная руда	100,00	29,8	100,00

Технологическая схема и себестоимость избирательного дробления и разделения соляных пород термическим методом

Технологическая схема избирательного дробления соляных пород термическим методом очень проста и предусматривает следующие операции.

После крупного дробления и грохочения соляной породы на грохоте с размером отверстий 25 мм, надрешетный продукт транспортером подается во вращающуюся барабанную печь. При движении соляной породы и горячих дымовых газов в печи по принципу противотока, происходит ее нагревание до  $500^{\circ}$  и термическое дробление. Из печи раздробившаяся соляная порода поступает в барабанный холодильник, в котором она охлаждается противотоком воздуха. Нагретый в холодильнике до  $200-300^{\circ}$



воздух используется для нагревания соляной породы в печи и поддержания горения топлива. Охладившаяся соляная порода подвергается грохочению. Размер отверстий грохота зависит от цели термического дробления и типа соляной породы и устанавливается в каждом отдельном случае опытным путем.

Если термический метод применяется в качестве метода очистки каменной соли от крупных образований примесей н.о. и ангидрита, рекомендуется проводить грохочение на сите с размером отверстий 10 мм. В этом случае надрешетный продукт будет являться отходом производства, а подрешетный после соответствующего доизмельчения механическим методом - готовым продуктом. При необходимости разделения подрешетного продукта на сорта, отличающиеся содержанием н.о. и ангидрита, можно проводить дополнительное грохочение, разделяя классы крупности с меньшим и большим содержанием примесей.

При применении термического метода к сильвинитовым рудам все технологические операции аналогичны операциям, описанным выше. Следует однако отметить, что в этом случае полезным продуктом будет надрешетный продукт, а отходом производства - подрешетный.

Данная принципиальная схема отвечает требованиям современной технологии. Она обеспечивает непрерывность технологического процесса, который достаточно легко может быть автоматизирован. При необходимости установка для термического дробления и разделения соляных пород может быть размещена в подземных выработках шахты.

Расчет ориентировочной себестоимости процесса термического дробления и разделения компонентов соляных пород показал, что обработка одной тонны соли этим методом будет равна приблизительно 50 коп.

Таким образом термическое дробление и разделение солей является относительно дешевым процессом. Достаточно сказать, что расходы на получение I тонны пищевой соли методом вакуумвыпарки более, чем в десять раз превышают расходы при термическом методе.

### Выводы и рекомендации

1. Впервые разработаны основы термического метода дробления и разделения компонентов соляных пород месторождений каменной соли и сильвинитовых руд, и установлена возможность применения этого метода для очистки каменной соли Артемовского и Нахичеванского месторождений от примесей нерастворимого в воде остатка и ангидрита.

2. Установлено, что степень термического дробления каменной соли зависит от температуры нагрева. Оптимальной температурой термического дробления является температура  $500^{\circ}\text{C}$ . С повышением температуры нагрева выше  $500^{\circ}$  степень термического дробления практически не изменяется. С понижением температуры ниже  $500^{\circ}$  степень термического дробления уменьшается и при  $200-300^{\circ}$  становится равной единице.

3. Степень термического дробления каменной соли находится в прямой пропорциональной зависимости от исходной крупности кусков. С уменьшением крупности кусков каменной соли степень термического дробления уменьшается и при величине частиц исходной соли 1-3 мм практически равна единице.

4. Показано, что наличие в каменной соли примесей нерастворимого в воде остатка и ангидрита уменьшает степень ее термического дробления. Куски н.о. и ангидрита не обладают свойством термического дробления.

5. В результате термического дробления куски каменной соли преимущественно распадаются на отдельные зерна и их сростки. Благодаря этому при термическом дроблении имеет место лишь незначительное пылеобразование.

6. Установлены зависимости времени нагревания, необходимого для полного термического дробления каменной соли, от исходной крупности кусков и температуры нагрева печи.

7. Изучена термическая дробимость структурных разновидностей галита и сильвинита.

Различные структурные разновидности каменной соли и сильвинита существенно различаются в свойстве термического дробления. В наибольшей степени оно присуще каменной соли со скелетно-зональным строением зерен (летняя садка), каменной соли гигантобластовой структуры, молочно-белому сильвину и сильвиниту со скелетно-зональным строением зерен (летняя садка). Микро-, мелко-, и среднегранобластовая каменная соль, красные сильвиниты без скелетно-зонального строения зерен и волокнистый сильвинит, как правило, не обладают свойством термического дробления.

8. Установлены и сформулированы необходимые предпосылки для целесообразного применения в практике термического метода разделения компонентов соляных пород месторождений каменной соли и сильвинитовых руд.

9. Самораздробление кусков каменной соли и сильвинита при нагревании вызывается давлением водяных паров во включениях рапы в кристаллах (зернах). Необходимым условием термического дробления является герметичность включений рапы. Наличие включений газов и образование их при нагревании соляных пород существенного влияния на термическое дробление не оказывают.

10. Показано, что влаго- и газовыделение при нагревании различных разновидностей каменной соли и сильвинита определяются генезисом разновидностей и содержанием в них примесей нерастворимого в воде остатка и ангидрита. С повышением содержания примесей наблюдается, как правило, увеличение влаго- и газовыделения при нагреве кусков соляных пород.

II. Предложена принципиальная технологическая схема термического дробления и разделения компонентов соляных пород. Определена ориентировочная себестоимость этого процесса.

12. На основании проведенных исследований предлагается осуществить проверку процесса термического дробления и очистки каменной соли от примесей на укрупненной опытной установке с целью получения более точных технологических показателей процесса применительно к солям различных месторождений.

### С п и с о к

#### работ автора, опубликованных по теме диссертации

1. М.М. Павлюченко, Х.М. Александрович, А.Д. Маркин. Селективное дробление калийных руд термическим методом. ДАН СССР, т. 150, № 3, 1963.
2. Х.М. Александрович, М.М. Павлюченко, А.Д. Маркин. Термическое разрушение калийных руд. Сб. Калийные соли и методы их переработки. Минск, 1963.
3. Х.М. Александрович, М.М. Павлюченко, А.Д. Маркин, Л.И. Поворознюк, В.А. Лабецкий. Микровключенные газы и влага в природных калийных солях. Сб. Калийные соли и методы их переработки. Минск, 1963.
4. М.М. Павлюченко, Х.М. Александрович, А.Д. Маркин. Дефектотермический метод отделения примесей от каменной соли. ДАН СССР, т. 157, № 5, 1964.
5. Х.М. Александрович, М.М. Павлюченко, В.З. Кислик, Д.И. Лупинович, А.Д. Маркин, Т.Д. Лукьянчук. Селективное дробление соляных пород дефектотермическим способом. Изв. АН БССР, сер. хим. наук, № 4, 1965.
6. Х.М. Александрович, М.М. Павлюченко, Д.И. Лупинович, В.З. Кислик, А.Д. Маркин, Т.Д. Лукьянчук. Селективное дробление соляных пород дефектотермическим методом. Изв. АН БССР, сер. хим. наук, № 2, 1966.
7. Х.М. Александрович, М.М. Павлюченко, А.Д. Маркин. Селективное дробление соляных пород дефектотермическим методом. Химическая промышленность, № 7, 1966.
8. А.Д. Маркин, Л.И. Барон, Х.М. Александрович. Закономерности термического дробления галита. ДАН БССР, т. II, № II, 1967.

9. Сл. М. Александрович, М. М. Павлюченко,

А. Д. Маркин, *Всгакademie*, №1, 1966, 58

10. Сл. М. Александрович, М. М. Павлюченко,

А. Д. Маркин, *Kali - Symposium*, Erfurt, October, 1963.

11. Х. М. Александрович, М. М. Павлюченко, А. Д. Маркин. Авторское свидетельство, № 149366 от 17.09.1962.

По материалам диссертации были сделаны доклады на двух международных Симпозиумах по калийным солям, состоявшихся в ГДР в 1963 и 1965 годах.

АТ 20222 Сдано в печать 8-II-69г.

Подписано к печати 23-XII-68г.

Формат 60x90. 1.16. печ. листов 1,1

Заказ 40 Тир. 120 экз.

Резопринт Фундаментальной библиотеки  
АН БССР, Ленинский пр., 68