

66
К56

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

КОВАЛИШИН Иван Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕВОЙ ИНКРУСТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ
И ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ
КАЛИЙНЫХ РУД ПРИКАРПАТЬЯ

(Специальность 05.17.08 - Процессы
и аппараты химической технологии)

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

Минск - 1979

Работа выполнена в Калужском филиале Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института Галургии.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор АКСЕЛЬРУД Григорий Абрамович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ЯВОРСКИЙ Виктор Теофилович,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
ЧЕРКЕЗ Геннадий Сергеевич.

Ведущее предприятие: Калужское производственное объединение
"Хлорвинил"

Защита диссертации состоится 24 апреля 1979 г.
в 10 час. на заседании специализированного Совета
К-056.01.03 по присуждению ученой степени кандидата наук
в Белорусском технологическом институте им. С.М.КИРОВА
в аудитории 240, 4-й корпус, по адресу: г. Минск, ул. Сверд-
лова 13-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского
технологического института имени С.М.КИРОВА.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА,
КАНДИДАТ ХИМИЧЕСКИХ НАУК,
СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК

Е.Д.ДЗЮБА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

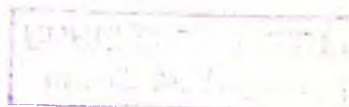
Актуальность проблемы. Решениями XXV съезда КПСС предусматривается увеличение объема производства минеральных удобрений в 1980 году до 143 млн. тонн в год, в том числе калийных - до 30 млн. тонн (в пересчете на $41,6\% K_2O$). Вместе с тем поставлена задача резкого повышения производительности труда, за счет чего в X пятилетке должно быть получено 90% прироста промышленной продукции.

Спыт эксплуатации отечественных калийных предприятий свидетельствует о наличии трудностей, связанных с интенсивной кристаллизацией солей на рабочих поверхностях оборудования, трубопроводов и связывающих коммуникаций. Это обуславливает необходимость установки большого количества резервного оборудования и трубопроводов, требует значительные трудовые затраты на очистку поверхностей, аварийность в работе. Поэтому разработка эффективных методов борьбы с солевой инкрустацией является одной из важных задач отечественной калийной промышленности, имеет большое народнохозяйственное значение.

В имеющейся литературе практически отсутствуют сведения о составе, физико-химических свойствах инкрустационных отложений на рабочих поверхностях оборудования калийных предприятий. Не изучены факторы, определяющие интенсивность данного процесса, и степень их влияния. Все это не позволяет научно обосновано подойти к устранению этого нежелательного явления. Применяемые в настоящее время методы борьбы с солевой инкрустацией в большинстве случаев являются дорогостоящими, малоэффективными и не решают проблему в целом.

Вместе с тем, знание кинетики и механизма солевой инкрустации позволило бы разработать эффективные меры предотвращения протекания инкрустационных процессов, повысить производительность оборудования и надежность его работы, снизить капитальные затраты и в конечном итоге улучшить технико-экономические показатели калийных предприятий.

Цель работы заключалась в исследовании природы, физико-химических свойств и кинетики процесса образования солевых инкрустационных отложений на рабочих поверхностях оборудования, трубопроводов и связывающих коммуникаций отечественных калийных предприятий, установлении количественных зависимостей между скоростью данного процесса и влияющими факторами. На основе анализа полученных зависимостей и выявленных закономерностей разработа-



5280ар

методы борьбы с солевой инкрустацией, технологию их применения, опробовать их в производственных условиях, выяснить технологическую и технико-экономическую эффективность применения разработанных методов, их надежность.

Научная новизна. Впервые установлено, что основным продуктом, инкрустирующим рабочие поверхности оборудования и трубопроводов при переработке полиминеральных калийных руд Прикарпатья, является минерал леонит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$), образующийся в процессе перекристаллизации. Впервые определено время перехода из метастабильного в равновесное стабильное состояние растворов, насыщенных по K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{--} при температурах 65, 55, 45, 35, 25 и 15°C. Получены приближенные уравнения, позволяющие определять массу выкристаллизовавшегося вещества в объеме трубопровода. Математически описана удельная скорость солевой инкрустации внутренней поверхности трубопроводов продуктами переработки. На основании проведенных исследований на уровне изобретения обоснованы и разработаны методы борьбы с солевой инкрустацией оборудования и трубопроводов в промышленности калийных удобрений.

Практическая ценность. На основании проведенного комплекса исследований разработаны и внедрены в промышленность меры по ликвидации солевой инкрустации оборудования и трубопроводов, заключающиеся в подборе соответствующих скоростей транспортирования солевых растворов, футеровке рабочих поверхностей стеклопластиком, полимербетоном и заменой конструкционного материала на титан. Внедрена технология изготовления блоков и вставок из полимербетона для защиты рабочих поверхностей желобов флотомашин и трубопроводов. Выданы рекомендации по установке буферных емкостей с перемешивающим устройством для хранения солевых растворов. Показана возможность устранения солевой инкрустации периодическими гидродинамическими колебаниями.

Реализация результатов работы. По результатам настоящих исследований на Калушском производственном объединении "Хлорвинил" и Стебниковском калийном заводе внедрены эффективные методы борьбы с солевой инкрустацией отстойников, содержащих насыщенные растворы, кристаллизаторов, желобов флотомашин, теплообменников, связывающих коммуникации противоточной промывки шламов, оборудования производства сульфата калия из шенита и раствора хлористого калия.

Экономический эффект от внедрения разработанных мер по борьбе с солевой инкрустацией оборудования и трубопроводов на калийных предприятиях Прикарпатья в период 1974-1977 гг. составил 168 тыс. руб.

А п р о б а ц и я р а б о т ы . Результаты настоящих исследований были доложены и обсуждены на: IУ республиканской конференции "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств" (г. Харьков, 1976 г.); Всесоюзной конференции "Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве" (г. Москва, 1976 г.); Республиканской конференции "Проблемы комплексной переработки минеральных ресурсов Карпат для нужд народного хозяйства" (г. Львов, 1977 г.); ученом совете Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института галургии (г. Ленинград, 1975-1978 гг.).

А в т о р з а щ и щ а е т : выявленные количественные зависимости и закономерности кинетики процесса солевой инкрустации рабочих поверхностей оборудования и трубопроводов калийных предприятий; методы борьбы с солевой инкрустацией в калийной промышленности; технологию применения разработанных методов борьбы с инкрустированием поверхности в конкретных условиях производства.

П у б л и к а ц и и . По теме диссертации опубликовано девять работ, получено авторское свидетельство на изобретение.

О б ъ е м р а б о т ы . Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, изложена на 141 странице машинописного текста, иллюстрируемая 49 рисунками, имеет список литературы из 135 наименований и приложения на 35 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены: задачи отечественной калийной промышленности, перспективы ее развития, обосновывается актуальность темы, ставятся цель и задачи исследования.

В первой главе "Обзор литературы" приведен анализ литературных данных по теории кристаллизации солей из простых и сложных солевых систем, имеющихся сведений по солевой инкрустации рабочих поверхностей оборудования и трубопроводов, дана критическая оценка применяемых в промышленности методов борьбы с этим явлением. Показано на конкретных примерах работы калийных предприятий по переработке полиминеральных руд Прикарпатья многообразие типов

инкрустационных солевых корок, образующихся на различных участках рабочих поверхностей, оборудования, трубопроводов и связывающих коммуникаций.

Имеющиеся литературные сведения и опыт работы калийных предприятий свидетельствуют, что солевая инкрустация является чрезвычайно сложным процессом, зависящим от множества разнообразных факторов (природы и состава солевых растворов, степени их перемещения, наличия температурных перепадов, гидродинамики движения раствора, типа оборудования, конструктивного материала и чистоты обработки поверхности и др.). Количественные зависимости кинетики процесса инкрустирования от указанных факторов и степень их влияния на интенсивность данного процесса, природу и состав инкрустационных отложений в литературе практически отсутствуют. Имеющиеся в литературе сведения по данному вопросу относятся к строго определенным условиям, имеют ограниченное применение, а поэтому не могут составить основу для научно-обоснованного выбора эффективных методов предотвращения солевой инкрустации в каждом конкретном случае производства.

Анализ применяемых методов борьбы с солевой инкрустацией рабочих поверхностей оборудования и трубопроводов показал, что основными являются установка резервного оборудования, трубопроводов и их тепловая изоляция. Указанные способы требуют значительных капитальных затрат (до 50% резервных технологических коммуникаций и до 30% резервного оборудования) связаны с большими эксплуатационными затратами, применением ручного труда, снижают культуру производства в целом.

В конце главы, на основе анализа литературных данных и опыта работы отечественных калийных предприятий, определена основная цель работы и указаны задачи, которые необходимо было решить для достижения поставленной цели.

Во второй главе представлены основные результаты: физико-химических исследований солевой инкрустации рабочих поверхностей оборудования промышленными растворами; изучения влияния различных факторов на скорость солевой инкрустации и природу солевого отложения; адгезии инкрустационной солевой корки с поверхностью различных материалов.

Исследования минералогического состава солевых отложений иммерсионным методом показали, что основная масса их состоит из вторичного минерала - леонита ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$), образующегося в процессе перекристаллизации, с примесями галита, лентбейни-

та, полигалита, сильвина и глинистого материала. В шлифах солевых отложений леонит представлен длиннопризматическими кристаллами, упорядочено расположенными в виде радиально-лучистых, сноповидных и параллельных агрегатов. В строении инкрустационной корки заметны две зоны: зона, находящаяся вблизи рабочей поверхности, характеризующаяся компактным, плотным сложением, и зона, представляющая основную массу солевой инкрустационной корки, обладающая пористой текстурой. В таблице представлены минералогические составы перерабатываемой на фабриках руды и солевой инкрустации.

Таблица

Минералы	Состав, % масс.	
	перерабатываемая руда	солевая инкрустация
Галит ($NaCl$)	30,9	5,0
Сильвин (KCl)	3,0	1,8
Камнит ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$)	19,2	5,9
Лангбейнит ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$)	12,6	3,0
Леонит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$)	-	78,1
Полигалит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	9,8	8,8
Ангидрид ($CaSO_4$)	1,1	-
Кизерит ($MgSO_4 \cdot H_2O$)	4,5	-
Нерастворимый остаток (Н.О.)	18,9	2,4

Рентгенографические исследования образцов солевых отложений на различных этапах их образования показали, что в первый период инкрустирования преимущественно осаждаются хлориды калия и натрия. В дальнейшем, в результате снятия пересыщения, температурных колебаний и других факторов, происходит увеличение содержания сульфатсодержащих минералов и снижение содержания хлоридов. Это дает основание утверждать, что сульфаты, по сравнению с хлоридами, образуют более абразивоустойчивые кристаллы, поэтому они и составляют основную массу инкрустационных солевых отложений.

Известно, что одним из основных средств предотвращения солевой инкрустации в промышленности калийных удобрений является термоизоляция оборудования и коммуникаций. данное мероприятие несколько уменьшает, но не исключает инкрустацию рабочих поверхностей. Это объясняется тем, что производственные растворы в течение

длительного времени могут, как показали наши исследования (рис. 1), находиться в состоянии пересыщения. При проектировании технологических схем калийных предприятий возможные пересыщения рабочих растворов (звяду отсутствия в литературе данных по этому вопросу) не учитывались.

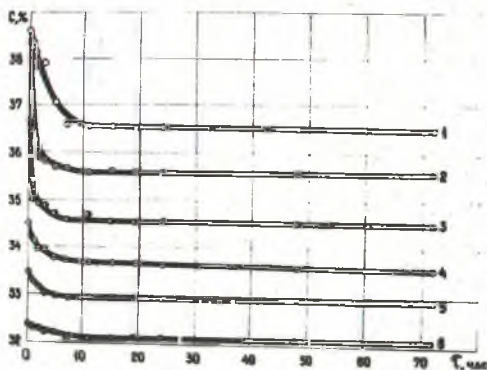


Рис. 1. Кинетика достижения равновесного состояния производственного раствора, насыщенного по K^+ , Na^+ , Mg^{++} Cl^- , SO_4^{--} при температурах, °C: 1-65; 2-55; 3-45; 4-35; 5-25; 6-15.

Таким образом, в борьбе с инкрустацией вместе с термоизоляцией необходимо применять и другие технические меры, особенно для растворов, имеющих повышенные температуры.

Важным фактором, влияющим на процесс солевой инкрустации рабочих поверхностей оборудования, является скорость движения раствора и природа поверхности конструкционного материала.

Для исследования использовали промышленные растворы Калужского производственного объединения "Хлорвинил", Стебниковского завода и раствор хлористого калия. Исследуемые конструкционные материалы подбирали исходя из их стоимости, химической, температурной и коррозионной стойкости, а также с учетом новых, перспективных направлений и тенденций в калийной и других отраслях промышленности. Исходя из этого были выбраны следующие материалы: стали Ст.3 Х18Н10Т, полимербетон, стеклопластик и титан ВТ1-0. Учитывая, что традиционным конструкционным материалом в калийной промышленности является углеродистая сталь, изучали поведение образцов из Ст.3 с различной топографией поверхности. Температурные

режимы опытов выбирали исходя из промышленных условий и составляли 15-65°C. Лабораторная установка, состоящая из кристаллизатора с мешалкой, термостата и холодильного агрегата, позволяла изменять режим движения раствора и его температуру.

Процесс солевой инкрустации поверхностей количественно характеризовали при помощи понятия "удельная скорость инкрустации", которую определяли по формуле

$$J = \frac{\Delta M}{F \cdot \tau} \quad (1)$$

где J - удельная скорость инкрустации, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}$;
 ΔM - количество отложившейся соли, кг;
 F - площадь поверхности образца, подвергавшегося инкрустации, м²;
 τ - время процесса, сек.

Определена удельная скорость солевой инкрустации поверхностей указанных материалов в зависимости от скорости движения растворов (Рис. 2 и 3). Показано, что с увеличением скорости движения раствора удельная скорость инкрустации для всех исследуемых образцов падает, причем в наибольшей мере солевой инкрустации подвергается шероховатая Ст.3 и Х18Н10Т. Соли сульфатного типа в аналогичных условиях более склонны к инкрустированию поверхности по сравнению с растворами хлористого калия.

Исследовали также солевую инкрустацию внутренней поверхности трубопроводов продуктами переработки полиминеральных калийных руд на укрупненной установке, состоящей из параллельных участков трубопроводов длиной 250 мм и диаметром 50 мм включенных в технологическую схему обогатительной фабрики Калушского производственного объединения "Хлорвинил". Скорости движения раствора изменяли от 0,3 до 2,1 м/сек.

Результаты исследований показали, что характер зависимости удельной скорости солевой инкрустации от скорости движения раствора в трубопроводе аналогичны результатам лабораторных исследований. Лучшими материалами, с точки зрения солевой инкрустации, является титан ВТ1-0, полимербетон и стеклопластик. Так, например, солевая инкрустация внутренней поверхности трубопровода, изготовленного из титана, полимербетона и стеклопластика при скорости движения раствора 0,3 м/сек. такая же как на поверхности стального трубопровода при скорости 1,5-1,7 м/сек. Полученные данные свидетельствуют о том, что путем футеровки рабочих поверхностей

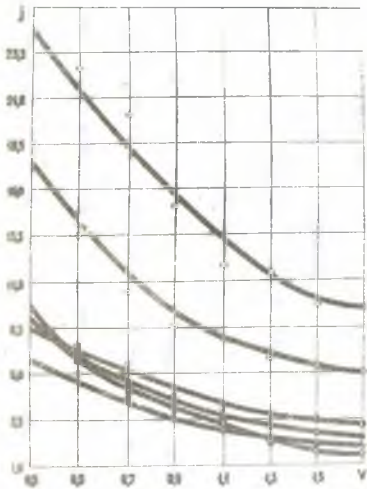


Рис. 2. Зависимость удельной скорости $\left[\gamma \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек.}} \right]$ солевой инкрустации KCl от линейной скорости мешалки $[V \text{ м/сек}]$ для поверхностей: 1 - Ст.3 нешлифованной; 2 - Х18Н10Т; 3 - Ст.3 шлифованной; 4 - титана ВТ1-0; 5 - полимербетона; 6 - стеклопластика.

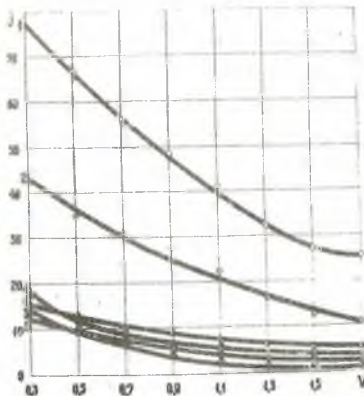


Рис. 3. Зависимости удельной скорости $\left[\gamma \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек.}} \right]$ солевой инкрустации продуктами переработки полиминеральных калийных руд от линейной скорости мешалки $[V \text{ м/сек}]$ для поверхностей: 1 - Ст.3 нешлифованной; 2 - Х18Н10Т; 3 - Ст.3 шлифованной; 4 - титана ВТ1-0; 5 - полимербетона; 6 - стеклопластика.

оборудования и трубопроводов материалами менее склонными к инкрустированию и подбора соответствующей скорости движения раствора, солевая инкрустация может быть значительно снижена или полностью

устранена.

Для расчета скорости солевой инкрустации из многокомпонентных солевых растворов необходимо учитывать неподдающиеся в реальных условиях разграничению процессы массо- и теплопередачи, гидродинамику, а также кинетику множества одновременно протекающих реакций. Ввиду этого получить полное математическое описание такого сложного процесса не представляется возможным.

Представим удельную скорость солевой инкрустации в виде функциональной зависимости.

$$J = f(K, C_p, \Delta t, V), \quad (2)$$

где $K, C_p, \Delta t, V$ - соответственно коэффициент теплопередачи, теплоемкость раствора, разность температур между раствором и окружающей средой, скорость движения раствора.

Для описания конкретного вида этой функциональной зависимости использовали метод анализа размерностей. Путем ряда математических преобразований, используя имеющиеся в литературе соответствующие зависимости и собственные экспериментальные данные, обработанные с помощью стандартной программы на ЭВМ, получено уравнение (3), позволяющее с достаточной для инженерных расчетов точностью определять для каждого материала (из исследованных нами) удельную скорость солевой инкрустации.

$$\frac{J \cdot C_p}{K} = A \left(\frac{C_p \cdot \Delta t}{V^2} \right)^Z, \quad (3)$$

где для Ст.3	- $A = 8,688 \cdot 10^{-5}$: $Z = 0,373$
XI8H10T	- $A = 6,838 \cdot 10^{-5}$: $Z = 0,324$
BTI-0	- $A = 6,343 \cdot 10^{-5}$: $Z = 0,316$
Полимербетон	- $A = 2,658 \cdot 10^{-5}$: $Z = 0,342$
Стеклопластик	- $A = 1,514 \cdot 10^{-6}$: $Z = 0,566$

Анализ результатов опытов на ЭВМ показал, что для многокомпонентных солевых растворов основным фактором, влияющим на процесс солевой инкрустации, является скорость потока. Например, при увеличении скорости потока от 0,3 до 2,1 м/сек. удельная скорость солевой инкрустации уменьшается в среднем в 4 раза. Изменение температуры раствора от 67 до 44°C увеличивает удельную скорость солевой инкрустации на 14%. Увеличение коэффициента теплопередачи от 6,5 до 8,5 Вт/м²·град. приводит к увеличению скорости солевой инкрустации на 10%.

При движении раствора по трубопроводу, вследствие теплопотерь

через стенку в окружающую среду, происходит снятие пересыщения и охлаждение раствора. Понижение температуры раствора не может не сказаться на интенсивности кристаллизации и инкрустации поверхности. Учитывая это, нами предпринята попытка установить теоретически закономерность понижения температуры по длине трубопровода. В результате предложено уравнение (4), позволяющее определять распределение температур раствора по длине трубопровода. Полученное уравнение достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными.

$$t = t_a + (t_0 - t_a) e^{-\frac{4K\tau}{C_p \rho V d}}, \quad (4)$$

где t_0, t_a, t_b - соответственно начальная температура, температура раствора и температура окружающего воздуха;

K, C_p, ρ, V и τ - соответственно коэффициент теплопередачи, теплоемкость, плотность раствора, диаметр трубопровода, скорость раствора и время движения раствора в трубопроводе.

На следующем этапе исследовали влияние понижения температуры на кристаллизацию солей из раствора при его движении по трубопроводу. Используя основное уравнение диффузионно-кинетической теории кинетики кристаллизации, уравнение (4), экспериментальные данные по равновесию (см. рис. 1) получено уравнение (5), которое позволяет предвидеть кинетику кристаллизационных процессов в трубопроводах из пересыщенных солевых растворов.

$$C = C_{sb} - (C_n - C_{sb} - K \frac{C_{so} - C_{sb}}{K - d}) e^{-K\tau} + K \frac{C_{so} - C_{sb}}{K - d} e^{-d\tau}, \quad (5)$$

где C_n, C, C_{sb} и C_{so} - концентрации раствора, соответственно, начальная, текущая к моменту времени τ , равновесная по кривой равновесия, соответствующая температуре окружающего воздуха, и соответствующая начальной температуре раствора.

Проведенные промышленные испытания охлаждения и кристаллизации солей при транспортировке растворов по трубопроводу на сульфатной фабрике Калушского производственного объединения "Хлорвинил" показали удовлетворительную сходимость фактических концентраций с расчетными по формуле (5). Это дает основание рекомендовать использовать уравнение (5) при проектировании и эксплуатации трубопроводов калийных предприятий.

Одним из факторов, влияющих на процесс солевой инкрустации, является адгезия инкрустационной солевой корки к поверхности ма-

териала.

Как указывалось выше, материал поверхности и чистота ее обработки влияют на интенсивность инкрустационного процесса. О величине адгезии инкрустационной солевой корки к поверхности материала судили по двум показателям: 1) скорости потока раствора, которая необходима для срыва с испытуемого образца инкрустационной корки определенной толщины (гидродинамический метод); 2) величине усилия для срыва слоя соли с испытуемого образца (механический метод). Осаждение на образцах различных материалов слоя соли производили из насыщенных производственных растворов в идентичных условиях. Испытывались инкрустационные слои высотой от 0,5 до 7,0 мм.

Проведенные исследования показали, что в наибольшей мере адгезии подвержены поверхности Ст.3 и Ст.Х18Н10Т; в наименьшей поверхности титана и стеклопластика. Так, например, для удаления инкрустационной солевой корки с поверхности титана и стеклопластика высотой 2 мм необходима скорость раствора в 2-3 раза меньше, чем для Ст.3.

На основании полученных результатов выведено уравнение, позволяющее определять скорость движения раствора, при которой происходит срыв солевых инкрустационных корок с поверхности материала (уравнение 6)

$$V = \sqrt{\frac{2Ga}{\rho h}}, \quad (6)$$

где V - скорость раствора, при которой происходит срыв инкрустационного слоя; ρ - плотность раствора; h и a - высота и длина инкрустационной корки; G - сдвиговое усилие.

Показано, что для гладких поверхностей действие скорости потока в первый период солевой инкрустации является важным фактором, препятствующим образованию корки. Однако в дальнейшем гладкие поверхности также подвергаются инкрустированию, хотя и в меньшей степени. Длительными испытаниями (до 20 часов) обнаружено, что на гладких поверхностях образуется слой соли определенной толщины после чего этот слой потоком раствора срывается. В дальнейшем процесс повторяется снова.

Таким образом, результатом проведенных исследований является обнаружение закономерностей, которые в определенной степени раскрывают кинетику солевой инкрустации, ее механизм. Все это представляет значительный практический интерес, составляет теоретическую основу для разработок рекомендаций по устранению или уменьшению солевой инкрустации в промышленности калийных удобрений.

Третья глава посвящена разработке и реализации мероприятий по снижению солевой инкрустации рабочих поверхностей оборудования и трубопроводов на отечественных калийных предприятиях.

На основе результатов, полученных при изучении физико-химических свойств производственных растворов, предложены и реализованы такие способы борьбы с солевой инкрустацией, как: применение высоконапорного насосного оборудования для увеличения скоростей транспортировки растворов, установка в буферных емкостях для хранения растворов перемешивающих устройств и другие.

Установлена возможность применения в качестве эффективных способов борьбы с солевой инкрустацией оборудования и трубопроводов защиты рабочих поверхностей стеклопластиком и полимербетоном. На тех производственных стадиях, где данный вид защиты не представляется возможным выполнить, предложена, как одна из наиболее эффективных мер, замена оборудования из стали ст.3 и других конструкционных материалов на титан.

Разработана технология защиты рабочих поверхностей сгустителей и емкостей стеклопластиком, изготовление защитных блоков для желобов флотомашин и трубопроводов из полимербетона. Показано, что эти виды защиты отличаются долговечностью, простотой и надежностью в эксплуатации.

Показано, что стеклопластик можно применять для защиты внутренней поверхности от солевой инкрустации корпусов вакуум-кристаллизационной аппаратуры, отстойников, буферных емкостей, течек фильтров, желобов, лотков и другого оборудования. Надежным защитным покрытием для трубопроводов и желобов всех продуктов переработки полиминеральных калийных руд является полимербетон. Армированные полимербетоны имеют высокую прочность и универсальную химическую и абразивную стойкость.

Прочность, легкость и высокая химическая стойкость титана и его сплавов в растворах солей калийных производств, а также повышенная стойкость к солевой инкрустации продуктами переработки определили целесообразность применения этого конструкционного материала для изготовления оборудования и связывающих коммуникаций на тех стадиях производства, где имеется повышенная температура (выше 65°C) и где традиционные способы защиты не долговечны. Титан является незаменимым материалом для изготовления подогревателей, вакуум-выпарных аппаратов, кристаллизаторов, желобов, трубопроводов, труб "Вентури", абсорберов и других.

В четвертой главе приведена технико-экономическая оценка промышленного внедрения мероприятий по снижению солевой инкрустации рабочих поверхностей оборудования, трубопроводов и связывающих коммуникаций на калийных предприятиях Прикарпатья. Показано, что футеровка желобов флотомашин на фабрике Стебниковского калийного завода полимербетонными блоками позволила в 1974 г. сократить простои из-за солевой инкрустации на 8,5% по сравнению с 1973 годом, что дало возможность дополнительно выпустить 12882 тонны калийно-магниевого концентрата в год.

Внедрение подогревателей растворяющего щелока в титановом исполнении, защита стеклопластиком отстойников и другие мероприятия, выполненные на производственном объединении "Хлорвинил" с целью снижения солевой инкрустации, позволили снизить себестоимость одной тонны выпускаемой продукции на 3,24 рубля и получить экономический эффект в сумме 1,6 млн. руб.

В В О Д Ы

1. Солевая инкрустация на поверхностях технологического оборудования и коммуникаций при переработке полиминеральных калийных руд Прикарпатья приводит к выходу из строя аппаратов, уменьшению их производительности, снижает технико-экономические показатели и общую культуру производства. Разработка эффективных методов защиты оборудования от инкрустации - важная задача отечественной калийной промышленности.

2. В диссертационной работе показано, что теоретические предпосылки, имеющиеся в опубликованной литературе по кристаллизации солей, не дают возможности однозначно определить степень влияния различных факторов на процесс солевой инкрустации, разрабатывать в каждом конкретном случае эффективные методы борьбы с ней. Поэтому разработка путей и методов предотвращения солевой инкрустации технологического оборудования в отечественной калийной промышленности может быть осуществлена лишь путем экспериментально-го изучения данного процесса в условиях его ведения.

3. Исследована природа образования солевой инкрустации на рабочих поверхностях оборудования и трубопроводов, эксплуатируемых в сложных условиях переработки полиминеральных калийных руд Прикарпатья. Впервые установлено, что основным продуктом инкрустирующим рабочие поверхности оборудования и трубопроводов, является вторичный минерал леонит ($K_2SD_4 \cdot MgSD_4 \cdot 4H_2O$), образу-

щийся в процессе перекристаллизации.

4. Впервые в практике переработки полиминеральных калийных руд исследованы основные факторы, влияющие на скорость солевой инкрустации: степень пересыщения раствора; скорость движения раствора относительно поверхности аппарата и трубопровода; состояние рабочей поверхности; смачиваемость поверхности конструкционного материала; адгезия инкрустационной корки к поверхности различной природы; степень охлаждения раствора по длине трубопровода. Установлены зависимости солевой инкрустации от указанных факторов, определены параметры, которые в наибольшей степени влияют на интенсивность солевой инкрустации.

5. Предложены математические модели процессов солевой инкрустации и кристаллизации при движении растворов по трубопроводу, позволяющие определять массу кристаллизующегося вещества в объемах трубопроводов.

6. Определена адгезия солевой инкрустации с поверхностями различной природы. На поверхности титана, полимербетона и стеклопластика адгезия солевых инкрустаций 4-5 раз меньше чем на поверхностях сталей Ст.3 и Х18Н10Т. Установлено также, что понижение смачиваемости материалов является одним из средств борьбы с солевой инкрустацией в процессе производства калийных удобрений.

7. На основе анализа экспериментального материала впервые в калийной промышленности предложены методы борьбы с солевой инкрустацией на рабочих поверхностях оборудования, трубопроводов и желобах. Разработана технология и оборудование для изготовления изделий из полимербетона, защиты внутренней поверхности трубопроводов и желобов флотомашин, покрытий из стеклопластика и замены конструкционного материала на титан.

8. Предложенные методы борьбы с солевой инкрустацией поверхностей оборудования частично внедрены на Калушском производственном объединении "Хлорвинил" и Стебниковском калийном заводе. Фактический экономический эффект, полученный от внедрения разработанных и предложенных рекомендаций, составляет 1685 тыс. рублей.

9. Разработанные методы борьбы с солевой инкрустацией оборудования и трубопроводов приняты при проектировании реконструкции Стебниковского калийного завода и фабрики Калушского производственного объединения "Хлорвинил".

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

Г. А. АКСЕЛБРУД, В. Н. ЮРЧИШИН, И. И. КОВАЛИШИН, Математическое опи-

- сание солевой инкрустации в многокомпонентных растворах. ЖПХ № 10, 1977, стр. 2299-2302.
2. И.И.КОВАЛИШИН, Г.Л.ТАРАНОВСКАЯ, Н.И.ХМАРА. Использование основного технологического оборудования на калийных предприятиях Прикарпатья. "Оборудование, его эксплуатация, ремонт и защита от коррозии в химической промышленности". Реф. сб. НИИТЭХИМ, М., № 12, 1976, стр. 4.
 3. А.И.КУРТА, И.И.КОВАЛИШИН, Д.В.ГРЕБЕНЮК. Исследование растворимости хлористого калия в системе $NaCl-KCl - MgCl_2 - CaSO_4 - H_2O$ ЖПХ № 2, 1976, стр. 288.
 4. И.И.КОВАЛИШИН, В.И.ДАВЫБИДА. Исследование инкрустации различных материалов хлористым калием. НИИТЭХИМ деп. № 1850/78.
 5. И.И.КОВАЛИШИН, В.И.ДАВЫБИДА. Исследование интенсивности инкрустации различных материалов продуктами переработки калийных руд. НИИТЭХИМ, деп. № 1709/78.
 6. И.И.КОВАЛИШИН, В.И.ДАВЫБИДА. Исследование массопереноса в пересыщенных многокомпонентных солевых растворах. Тезисы докладов республиканской конференции "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств". Харьков, 1975, стр. 144.
 7. И.И.КОВАЛИШИН, М.Н.НАЙДЕНОВ, Б.М.ШЕМЕРДЯК, Ю.С.ГРИГОРОВ. Защита желобов флотомашин полимербетоном. Реф. инф. ЦБНТИ, вып. 2 /105, 1976, стр. 4.
 8. И.И.КОВАЛИШИН, М.Н.НАЙДЕНОВ, Н.Н.ШУМИЛОВ, Ю.С.ГРИГОРОВ, О.В.ЛАВРИК. Авторское свидетельство СССР № 527398 Бюллетень "Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки", № 33, 1976.
 9. И.И.КОВАЛИШИН, М.Н.НАЙДЕНОВ, В.И.ШУШАРИН. Защитное покрытие на основе полиэфирной смолы для внутренней защиты технологических трубопроводов. Оборудование, его эксплуатация, ремонт и защита от коррозии в химической промышленности. Реф. сб. НИИТЭХИМ, М., № 6, 1976, стр. 10.
 10. Г.А.АКСЕЛЬРУД, И.И.КОВАЛИШИН, М.Н.НАЙДЕНОВ. Применение полимербетона на предприятиях калийной промышленности. "Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве". Стройиздат. М., 1976, стр. 191.

БГ 00150, подп. к печати 11.ш.1979 г. Зак. 268, тир. 150
Формат бумаги 30x42, печ. лист. 1. Бесплатно

Опытн. з-д ЛПИ. Фол, ул. Мира, 30.