

**АНАЛИЗ ПРИЧИН КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ  
В ГАЛУРГИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ПРОИЗВОДСТВА КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ**

© *К.Р. Таранцева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *А.С. Паличева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

**ANALYSIS OF CORROSION DAMAGE EQUIPMENT IN HALURGICAL METHOD OF PRODUCTION  
OF POTASH FERTILIZERS**

© *K.R. Tarantseva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *A.S. Palicheva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Проведен анализ причины интенсивного разрушения оборудования в модернизированной схеме производства калийных удобрений. Выявлено, что модернизация схемы смешения рабочих потоков привела к ускоренному коррозионно-эрозионному разрушению корпуса и узлов аппарата.

**Ключевые слова:** коррозия, аппарат, калийные удобрения, схема смешения.

The analysis of the reasons of intensive corrosion destruction of equipment in modernized scheme of potash fertilizers production was made. Revealed that the modernization of scheme has changed the scheme of mixing workflows and accelerated the corrosion-erosive destruction of the apparatus.

**Key words:** corrosion, apparatus, potash fertilizers, mixing scheme

В галургическом способе производства калийных удобрений применяется трехступенчатая прямоточная схема извлечение растворимого вещества из твердого материала с помощью жидкого растворителя (рис. 1).

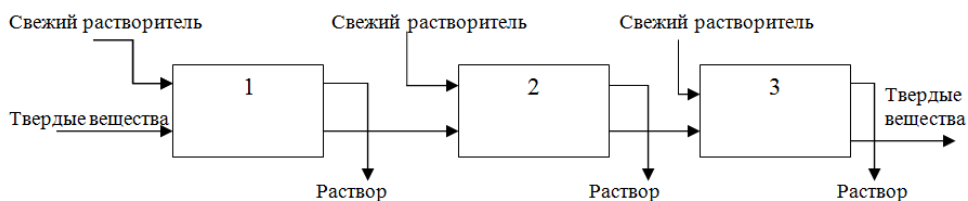


Рисунок 1 – Трехступенчатая схема выщелачивания

Аппараты работают по схеме прямотоков и установлены последовательно. Растворение руды происходит в двух первых аппаратах. Сильвинитовая руда загружается в первый аппарат (1), в котором происходит ее нагрев до температуры растворения (70-80 °С) при помощи маточного щелока. Нагретая руда поступает во второй аппарат (2), предназначенный для окончательного растворения щелоком, температура которого превышает 100°С. Остаток нерастворившейся твердой фазы из аппарата 2 выгружается элеватором в третий аппарат (3), предназначенный для рекуперации тепла галитового отвала.

Твердая фаза и растворяющая жидкость (маточный щелок) непрерывно поступают в корпус аппарата через штуцеры входа продукта, а раствор отводится через сливной карман и штуцер слива продукта с противоположного конца корпуса растворителя. Твердый материал перемещается вдоль корпуса аппарата винтовыми лопастями горизонтального ротора, жидкость движется в том же направлении. Нерастворившийся остаток поступает в установленный на выходе аппарата наклонный элеватор, после чего выгружается в следующий растворитель или отвал.

Для изготовления узлов и деталей, контактирующих с рабочей средой, применяется сталь марки 08Х21Н6М2Т, рекомендованная организацией, эксплуатирующей оборудование и специализированными институтами (ЗАО ВНИИ «Галургии», ПАО «УкрНИИХиммаш»).

В 2011 г. по решению эксплуатирующей организации аппарат (3) размерами 30500×5700×5990 мм был заменен аппаратом меньшей длины 21500×5700×5990. Модернизированный аппарат был введен в эксплуатацию в марте 2012 года.

Через три месяца эксплуатации во время плановой остановки аппарата были отмечены обширные участки коррозии на поверхности узлов и деталей, контактирующих с рабочей средой:

- корпус аппарата – точечно-язвенная поверхностная коррозия с участками различного диаметра, общей площадью более 20%, глубина язв до 2 мм;
- ротор – точечно-язвенная поверхностная коррозия с участками различного диаметра общей площадью порядка 20%, глубина язв до 2 мм.;

- лопасти ротора в зонах рубки листа подверглись эрозионно-коррозионному разрушению общей площадью 100%, с глубиной язв до 5 мм; в зонегиба на поверхности листа – точно-язвенная коррозия общей площадью порядка 10%, глубиной до 2 мм;
- оси ковшовой цепи элеватора – язвенная поверхностная коррозия с участками различного диаметра, глубина язв до 3 мм;
- сварные швы элементов ковшей элеватора – язвенная коррозия околошовных зон;
- шахта элеватора – язвенная поверхностная коррозия с участками различного диаметра, общей площадью более 20%, глубина язв до 2 мм;
- гайки крепления перегородок к корпусу растворителя – коррозионное растрескивание под напряжением по всему телу.

Через шесть месяцев эксплуатации аппарата, в сентябре 2012 г. выявлены следующие коррозионные разрушения:

- корпус аппарата – точно-язвенная коррозия поверхности стенок общей площадью порядка 25% с глубиной язв до 3,3 мм, язвенная коррозия околошовных зон вертикальных и горизонтальных сварных швов корпуса с глубиной язв до 3,0 мм;
- ротор – язвенная коррозия трубы ротора общей площадью порядка 25% с глубиной язв до 1,2 мм, язвенная коррозия лучей ротора с глубиной язв до 1,0 мм; язвенная коррозия кромок лопастей (в зоне рубки листа) общей площадью 100% с глубиной язв до 4,5 мм, язвенная коррозия лопастей, лучей, раскосов (в зонегиба листа) общей площадью порядка 15% глубиной до 1 мм;
- оси ковшовой цепи элеватора – язвенная коррозия с глубиной язв до 2,0 мм;
- ковши цепи элеватора – язвенная коррозия участков поверхности различного диаметра с глубиной язв до 1 мм, язвенная коррозия околошовных зон сварных элементов;
- шахта элеватора – язвенная коррозия общей площадью 25% с глубиной язв до 2 мм,
- гайки крепления перегородок к корпусу растворителя – коррозионное растрескивание под напряжением по всему телу с их частичным или полным разрушением.

Через двенадцать месяцев эксплуатации коррозионное разрушение аппарата продолжилось:

- корпус аппарата – глубина язв до 2,3 мм;
- нижняя часть корпуса аппарат (на уровне оси ротора) – глубина коррозионных язв до 4,0 мм;
- оси ковшовой цепи элеватора – язвы до 5мм;
- планки цепи элеватора – язвы глубиной до 2,0 мм.

Через 18 месяцев эксплуатации:

- корпус аппарата – глубина язв до 5,6 мм;
- днище шахты элеватора – глубина язв до 8 мм;
- торцевые кромки лопастей ротора – глубина язв до 15 мм;
- лопасти, лучи, раскосы в местахгиба – глубина язв до 5 мм;
- ковшова цепь заменена.

Таким образом, скорость коррозии превысила предельно допустимый для данного типа стали показатель.

Поскольку ранее, до модернизации аппарата, сталь марки 08X21H6M2T успешно зарекомендовала себя в данном производстве и случаев интенсивного коррозионного разрушения аппаратов не выявлено, был проведен анализ причин выхода данного аппарата из строя.

Выявлено, что аппарат изготовлен в полном соответствии с требованиями технического задания, требованиями нормативных документов и ГОСТ Р 52630-2006 по согласованной технической документации. Качество примененного металла 08X21H6M2T подтверждено сертификатами соответствия завода-изготовителя, протоколами испытаний на межкристаллитную коррозию и проведенными химическими и металлографическими исследованиями.

Химический анализ металла вырезанного фрагмента аппарата показал, что металл соответствует аустенитно-ферритной стали 08X21H6M2T ГОСТ5632-72.

Химический состав исследуемой стали по ГОСТ5632-72 приведен в таблице 1. Фактический химический состав приведен в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав стали 08X21H6M2T

Элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P
Содержание, %	≤0,08	≤0,8	≤0,8	20,0-22,0	5,50-6,50	1,80-2,50	0,20-0,40	≤0,025	0,035

Таблица 2 – Фактический химический состав стали 08X21H6M2T

Элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P
Содержание, %	0,07	0,46	0,42	21,8	6,5	1,95	0,2	0,018	0,021

Проведенные металлографические исследования показали, что структура металла соответствовала стали 08X21H6M2T после закалки при 1000°C. Выделений карбидов на границах ферритных и аустенитных зерен не наблюдалось.

Электрохимические исследования проводились с помощью потенциостата П-5827М в электрохимической ячейке без разделения катодного и анодного пространств. В качестве электрода сравнения применяли насыщенный хлорсеребряный электрод, вспомогательным электродом служила гладкая платина. При исследовании склонности сталей к питтинговой коррозии использовали электроды в виде полоски 20x10x1 мм.

Исследования на склонность к питтинговой (точечно-язвенной) и щелевой коррозии проводили путем снятия анодных потенциодинамических кривых прямого и обратного хода со скоростью наложения потенциала 1,8 В/час. Исследования проводили в модельном растворе технологической линии Б усредненного химического состава (%): KCl - 13,83; NaCl - 17,50; MgCl - 1,79; CaSO<sub>4</sub> - 0,19; CaCl<sub>2</sub> - 1,77; H<sub>2</sub>O - 0,76 на образце из стали 08X21H6M2T при температуре окружающей среды и при 70 ± 2 °С.

Выявлено, что сталь 08X21H6M2T в исходном состоянии корродирует в пассивном состоянии, однако ее потенциал репассивации питтингов всего на 40 мВ положительнее потенциала свободной коррозии, что может привести к возникновению питтингов при изменениях условий эксплуатации аппарата.

Таким образом, технологические особенности изготовления аппарата и качество конструкционного материала не могли послужить основной причиной разрушения аппарата и его узлов.

По-видимому, основной причиной, спровоцировавшей ускоренное разрушение аппарата, явилась его модернизация. Уменьшение длины аппарата с 30500 мм до 21500 мм, без изменения его ширины и высоты, привело к замене схемы прямотока (процесс идеального вытеснения продукта) к схеме противотока (процесс идеального смешения).

Согласно технологическим расчетам, процесс рекуперации тепла в модернизированном аппарате должен был протекать при противотоке. Аппарат для обеспечения производительности 800 т/ч по твердой фазе отвала, заполнялся рабочей средой практически под крышку (ниже уровня крышки ≈ на 300 мм). При подобном уровне заполнения мешалки в пространстве между крышкой и средой возникает насыщенная паровоздушная смесь.

В условиях высокой коррозионной и эрозионной агрессивности рабочей среды (табл. 3 и 4) это привело к ужесточению условий эксплуатации аппарата и интенсивному коррозионному разрушению аппарата [1-4].

Таблица 3 – Гранулометрический состав галитового отвала

Крупность фракции, мм	Массовая доля, %
+ 5	7,1 ÷ 12,6
+ 2,5	14,1 ÷ 20,0
+ 1,0	25,4 ÷ 38,3
- 1,0	33,3 ÷ 47,8
+ 0,5	17,3 ÷ 22,3
+ 0,125	13,2 ÷ 25,9
- 0,125	1,4 ÷ 3,0

Таблица 4 – Характеристика рабочих сред

Аппарат		
<i>галитовый отвал:</i> массовая доля воды 8÷14%; KCl до 3,1%; NaCl до 95%; CaSO <sub>4</sub> + нерастворимый остаток до 2,0%.	<i>жидкая фаза:</i> T=105°C; 7pH; плотность, кг/м <sup>3</sup> – 1250 ÷ 1255; вязкость (при 1000°C) – 0,6÷1,0·10 <sup>3</sup> Па·с; Температура кипения 107°C; Состав: KCl до 17%; NaCl до 17%; MgCl <sub>2</sub> + CaCl <sub>2</sub> до 4,0%; вода 62÷65%.	<i>маточный щелок:</i> T= 28 ÷ 42°C; плотность, кг/м <sup>3</sup> – 1230 ÷ 1245; Состав: KCl 9,5÷13,5%; NaCl 17÷ 19%; MgCl <sub>2</sub> + CaCl <sub>2</sub> до 4,0%; нерастворимый остаток – до 150 мг/м <sup>3</sup> ; вода 70÷64%. <i>фильтрат:</i> T= 65 ± 5°C. KCl 8÷17%; NaCl 9÷24%; MgCl <sub>2</sub> + CaCl <sub>2</sub> 1,9÷4,0%; <i>рассол:</i> T=-,5÷+40°C; плотность, кг/м <sup>3</sup> 1160÷1190; KCl 6÷9%; CaCl <sub>2</sub> 10÷15%; MgCl <sub>2</sub> + CaCl <sub>2</sub> – до 2,0%; вода 82÷75%.
Элеватор		

<p><i>галитовый отвал:</i>          массовая доля воды          8÷14%; KCl 1,85÷10,0%;          NaCl 97,15÷87,4%;          CaSO<sub>4</sub> 0,24÷0,51%;          нерастворимый остаток          0,74÷2,09%.</p>	<p><i>жидкая фаза:</i>          T= до 60 ÷ 80°C; 7 pH;          плотность 1220 ÷ 1240 кг/м<sup>3</sup>;          вязкость (при 100°C) –          1,5·1,0·10<sup>3</sup>Па·с          Состав: KCl 7,93÷16,6%;          NaCl 9,02÷ 24,6%;          MgCl<sub>2</sub> 0,9÷1,92%          CaCl<sub>2</sub> 1,0÷ ,03%;          остальное вода</p>	
---	--	--

Таким образом, можно сделать вывод, что язвенная коррозия, возникшая сразу после ввода оборудования в эксплуатацию, спровоцирована, главным образом, изменением конструкции аппарата.

#### **Список литературы**

1. Колотыркин Я.М. *Металл и коррозия.* – М.: Металлургия, 1985.
1. Пахомов В.С. *Коррозия металлов и сплавов.* – Наука и технологии, 2013.
2. Таранцева К.Р., Пахомов В.С. *Критерий питтингостойкости коррозионно-стойких сталей // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 6. С.45-48.*
3. Таранцева К.Р., Пахомов В.С. *Влияние движения среды и температуры на потенциал образования солевой пленки // Защита металлов. 1999. Т.35. № 2. С. 162 – 168.*