

«Engineering and Consulting PFA Alexander Gadetskiy»

<https://makston-engineering.ru/>

**MASTER**

Discipline: Chlor-Alkali Manufacturing

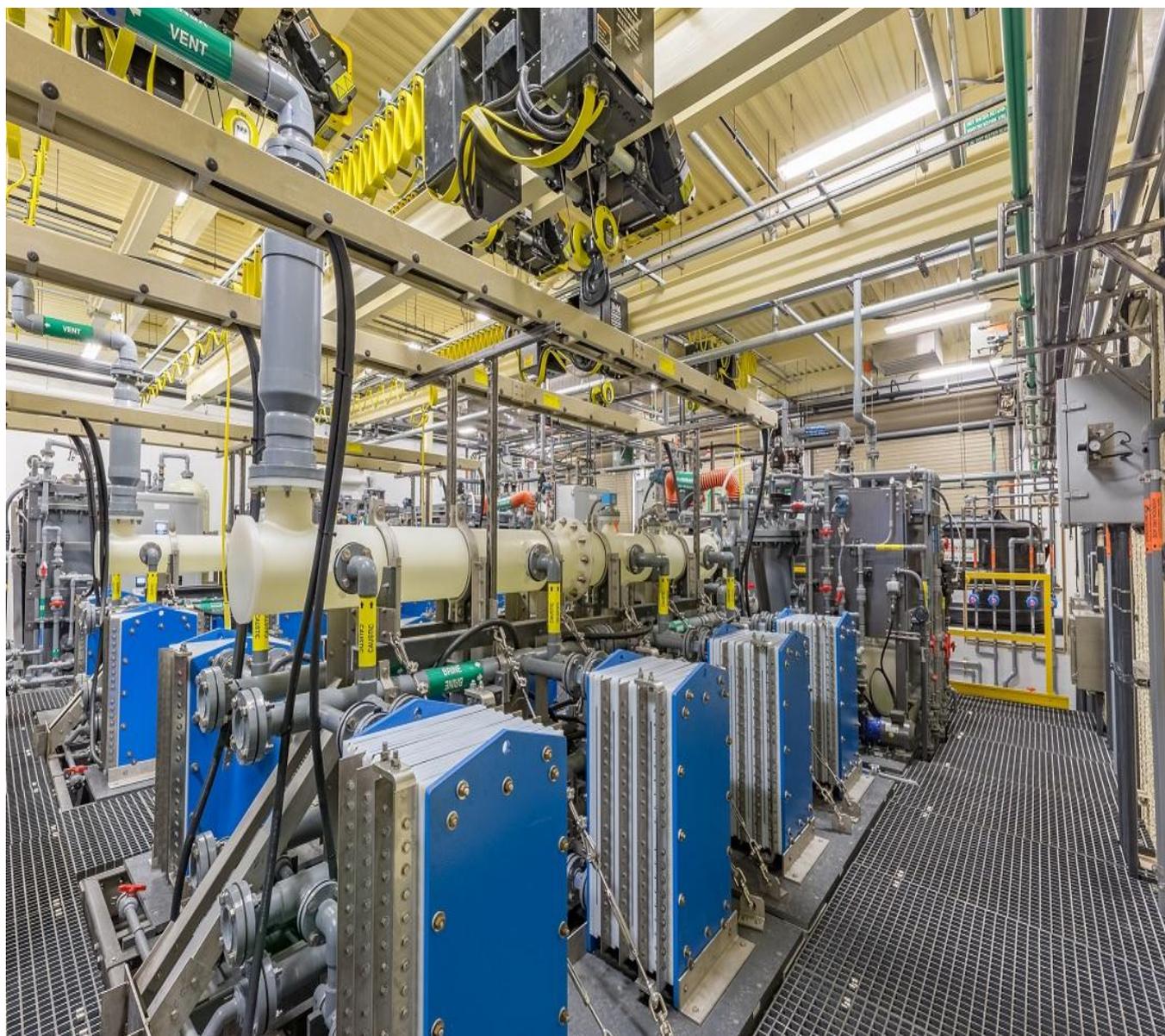
Name: [Alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:Alexander.gadetskiy@inbox.lv)

Sign.

Date: 10.07.2018



**Операционные затраты для электролизов с ртутным катодом, диафрагмой и мембраной, включая подготовку рассолов на основе каменной, озерной соли и природных подземных рассолов.**



Dipl. engineer Alexander Gadetskiy, phone: +40 (748) 148 257; e-mail: [alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:alexander.gadetskiy@inbox.lv)  
Certificate of registration on engineering activities and technical consultations № F4/172/17.02.2014

<https://makston-engineering.ru/>

## Содержание

1. Введение.....	
2. Качество каменной, озерной соли, подземных рассолов и готовой продукции для электролизеров с ртутным катодом, диафрагмой и мембраной.....	
3А <b>Вариант 1.</b> BFD схема электролиза с ртутным катодом.....	
3Б <b>Вариант 2.</b> BFD схема электролиза с диафрагмой.....	
3В <b>Вариант 3.</b> BFD схема электролиза с мембраной.....	
4. Подготовка рассола для электролизеров с диафрагмой и ртутным катодом .....	
5. Потенциал природных подземных рассолов //////////////// гидроминерального месторождения для извлечение йода, брома, лития, стронция, бора .....	
6. Операционные затраты при выпуске 50% едкого натра для электролизеров с твердым и жидким катодом, а также с мембраной. ....	
7. Выводы и рекомендации применительно к производству //////////////// .....	

## Приложения

**Приложение 1.** Полные анализы сырья предполагаемого к использованию: каменной и озерной соли, а так же природных подземных рассолов //////////////// гидроминерального месторождения.

**Приложение 2.** Параметры и количества энергоресурсов на площадке строительства по опросному листу предоставляемому Исполнителем.

**Приложение 3.** Техническое задание №1

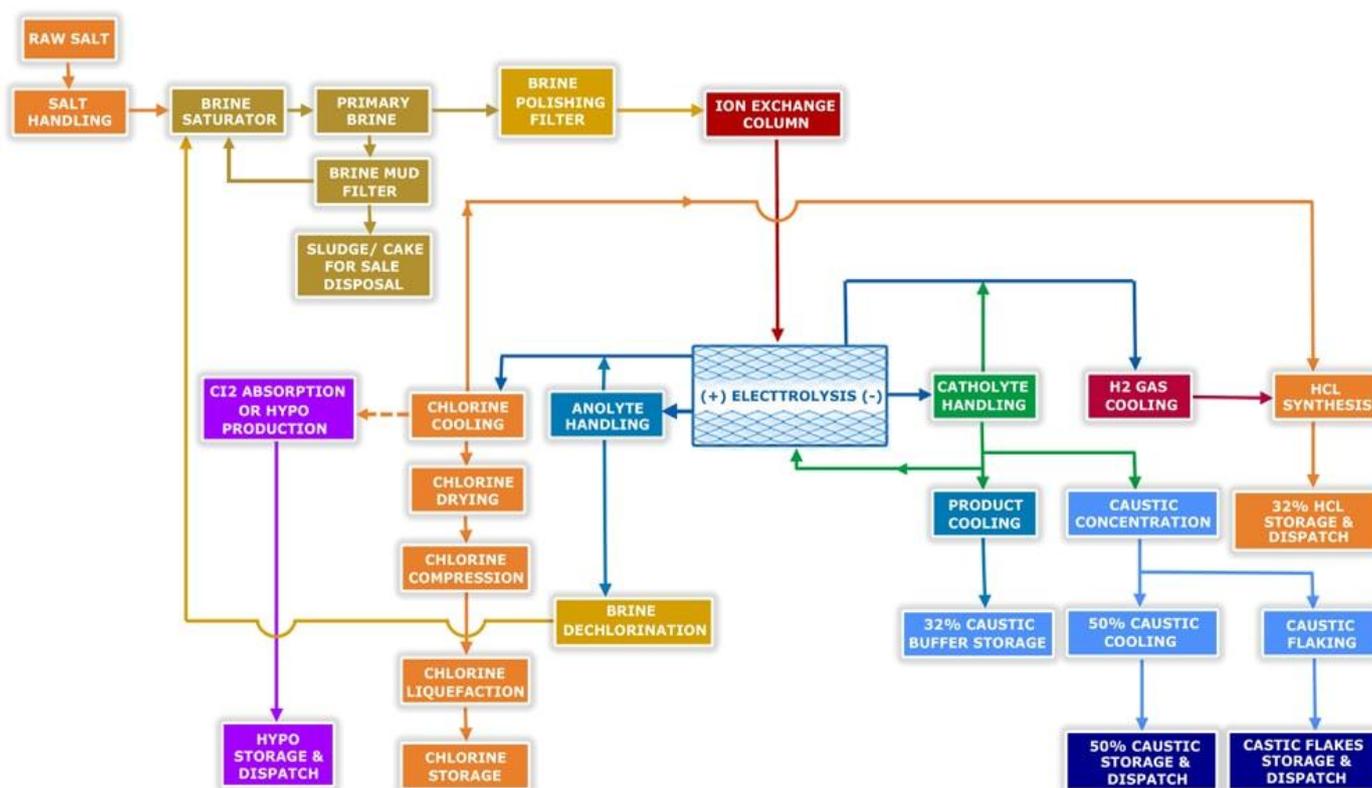
## 1. Введение

Заказчик //////////////// на основании **Технического задания №1** предполагает произвести изучение вариантов работы существующих диафрагменного и мембранного электролизов, а также планируемого к строительству ртутного электролиза с целью получения едкого натра волоконного качества без использования выпарки. Оценка будет произведена:

- исходя из доступных сырьевых ресурсов: каменной, озерной соли и подземных рассолов природного гидроминерального месторождения ////////////////
- исходя из операционных затрат необходимых для приготовления раствора хлорида натрия из каменной или озерной соли для всех трех типов электролиза
- исходя из операционных затрат необходимых для использования подземных рассолов пригодных к использованию для ртутного или диафрагменного электролизов
- исходя из востребованности на рынке товарного едкого натра получаемого при использовании ртутного, мембранного или диафрагменного электролизов (не входит в объем данной работы)

Все перечисленные табличные материалы, а также описания процесса для ртутного, мембранного или диафрагменного электролизов будут рассматриваться только в границах представленной на принципиальной BFD **Схемы 1**.

Схема 1.



Процессы с использованием ртутных электролизеров и диафрагменных электролизеров используются в хлорной промышленности более 100 лет, в то время как процесс с использованием мембранных электролизеров получил достаточное развитие в последние 25 – 30 лет.

Региональное распределение мощностей по производству хлора и щелочи в зависимости от типа электролизеров, в %.

Регион	Мембранные	Диафрагменные	Ртутные
Соединенные Штаты	22	67	11
Канада	44	53	3
Западная Европа	24	25	51
Восточная Европа	26	20	54
Япония	100	-	-

Первое промышленное применение мембранных электролизеров имело место в Японии в 1975 г. На протяжении 1980-х гг. применение мембранных электролизеров в Японии быстро расширялось, поскольку ртутные электролизеры постепенно выводились из эксплуатации, а затем были полностью запрещены в 1986 г. Первые мембранные электролизеры в СССР появились в 1987 году на химическом комбинате «Навои-Азот», Узбекская ССР, то есть значительно раньше, чем на большинстве европейских производств.

Таким образом, не смотря на экологические меморандумы о запрете ртутных электролизеров в той же самой «зеленой» ЕС более половины хлора и каустика производится на ртутном катоде. Неоспоримое качество едкого натра и минимальные энергетические затраты на его концентрирование направляют усилия не на закрытие этого процесса, а на повышение его безопасности.

## 2. Качество каменной, озерной соли, подземных рассолов и готовой продукции для электролизеров с ртутным катодом, диафрагмой и мембраной

В **Таблице 1** приведено требование по качеству для каменной и озерной соли, а также требования к рассолам, которые приготавливаются из них. Данные параметры являются хорошо известными и приводятся исключительно для единого подхода при оценке операционных затрат. Полные анализы приведены в **Приложении 1**.

**Таблица 1.**

Средний состав сухого хлорида натрия и рассолов для диафрагменного электролиза		
Наименование	Каменной и озерной соли	Подготовленного рассола для диафрагмы

NaCl	% масс, н/м	97.5	г/л, н/м	310
Осадок не растворимый	% масс, н/б	0.5		не норм.
Ca <sup>2+</sup>	% масс, н/б	0.4	мг/л, н/б	5
Mg <sup>2+</sup>	% масс, н/б	0.05	мг/л, н/б	1
SO <sub>4</sub>	% масс, н/б	0.84		не норм.
Влага	% масс, н/б	5		не норм.
K <sup>+</sup>	% масс, н/б	0.02*		не норм.
Амальгамная проба	за 30 мин, мл H <sub>2</sub> , н/б	0.3*		не норм.
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		не норм.	г/л, н/б	6
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		не норм.	г/л, н/б	0.4
NaOH		не норм.	г/л, н/б	0.1
Прозрачность		не норм.	мм, не менее	1200
* - только для ртутного электролиза				

В **Таблице 2** приведено качество сырого подземного рассола гидроминерального месторождения // и качество рассола после выделения J<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, Sr, Li, но до очистки для использования на диафрагменном или ртутном электролизерах. Полные анализы подземных рассолов приведены в **Приложении 1**, но эти данные являются единичными и расхождения между ними достаточно велики, поэтому мы рекомендуем обратиться в местную гидрогеологическую экспедицию и собрать материалы в архиве.

Таблица 2.

<b>Состав подземного рассола гидроминерального месторождения //</b>				
Наименование	Сырой рассол, масс. %		Рассол после выделения J <sub>2</sub> , Br <sub>2</sub> , Sr, Li, масс.%	
	NaCl	% масс	14.58	% масс
CaCl <sub>2</sub>	% масс	3.53	% масс	0.23
MgCl <sub>2</sub>	% масс	1.32	% масс	0.013
MgBr <sub>2</sub>	% масс	0.08	% масс	0.0002
MgJ <sub>2</sub>	% масс	0.0015	% масс	0.00001
SrCl <sub>2</sub>	% масс	0.05	% масс	0.00013
KCl	% масс	0.17	% масс	0.88
CaSO <sub>4</sub>	% масс	0.11	% масс	0.00016
FeCl <sub>3</sub>	% масс	0.015	% масс	-
MnCl <sub>2</sub>	% масс	0.001	% масс	-
LiCl	% масс	0.0019	% масс	0.00001
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	% масс	0.012	% масс	-
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	% масс	0.004	% масс	0.018
AlCl <sub>3</sub>	% масс	1.0746	% масс	-
H <sub>2</sub> O	% масс	79.05	% масс	68.19
<b>ИТОГО</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>

В **Таблице 3** приведено качество продуктов в процессах по производству хлора и щелочи.

Таблица 3.

Продукты электролиза	Процесс электролиза			
	Диафрагменный		Ртутный	Мембранный
	Не очищенный	Очищенный		
<b>Хлор после электролизеров, объем. %</b>				
Cl <sub>2</sub>	96,5-98		98-99	97-99,5
O <sub>2</sub>	0,5-2,0		0,1-0,3	0,5-2,0
CO <sub>2</sub>	0,1-0,3		0,2-0,5	
H <sub>2</sub>	0,1-0,5		0,1-0,5	0,03-0,3
N <sub>2</sub>	1,0-3,0		0,2-0,5	
<b>Раствор NaOH, масс. %</b>				
NaOH	50,0	50,0	50,0	50,0
NaCl	1,0	0,025	0,005	0,005
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,1	0,1	0,05	0,04
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,01	0,01	0,0005	0,0001
NaClO <sub>3</sub>	0,1	0,001	0,0005	0,001
SiO <sub>2</sub>	0,02	0,02	<0,001	0,002
CaO	0,001	0,001	0,001	0,0001
MgO	0,0015	0,0015	0,0002	0,0001
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0001
Fe	0,0007	0,0007	0,0005	0,0004
Cu	0,0002	0,0002	0,00001	0,0001
Hg	<10 <sup>-6</sup> %	<10 <sup>-6</sup> %	0,00003	<10 <sup>-6</sup> %
NH <sub>3</sub>		0,001		
<b>Газообразный водород, объем. %</b>				
H <sub>2</sub>	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9

Газообразный водород из всех трех типов электролизеров имеет чистоту 99,9%, но содержание ртути в водороде после ртутного электролиза варьирует от 1 мкг/м<sup>3</sup> до 10 мг/м<sup>3</sup> и требуется обязательный процесс очистки.

Содержание кислорода в хлоре наиболее низкое в процессе ртутного электролиза и удовлетворяет требованиям качества.

Содержание кислорода в хлоре мембранного и диафрагменного электролизеров необходимо понижать для достижения требуемых норм, что достигается сжижением и повторным испарением.

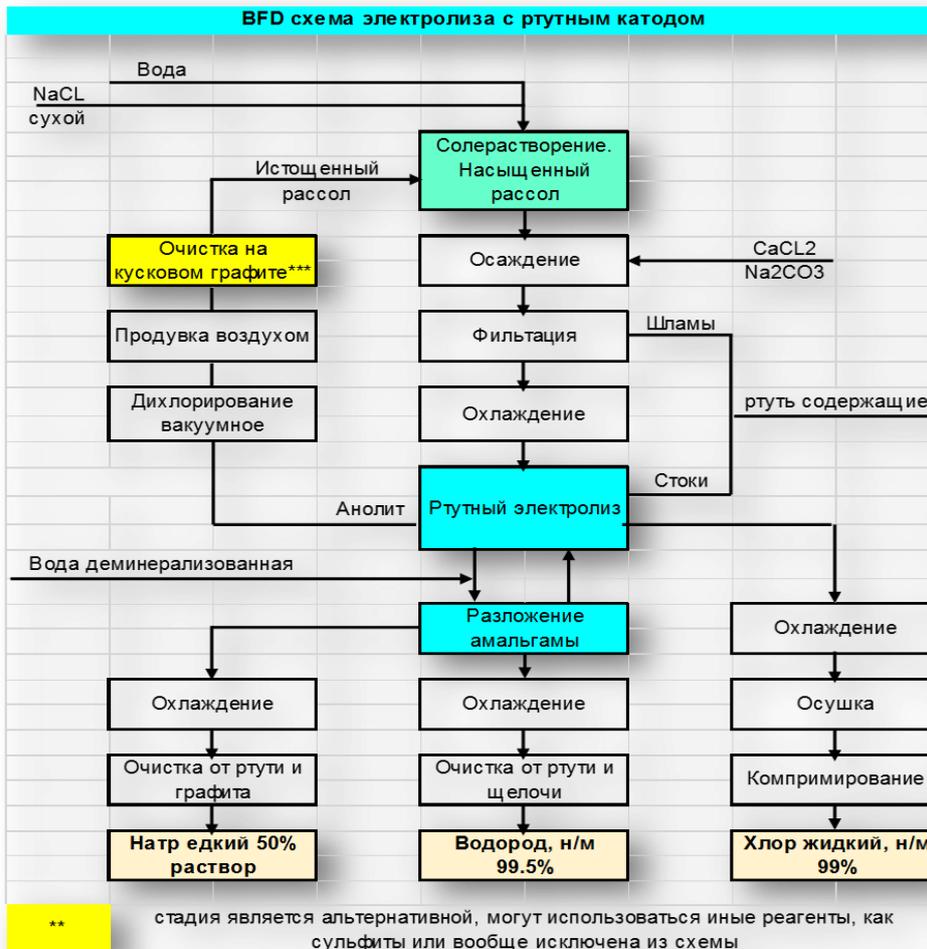
Концентрация каустической соды самая низкая для диафрагменных электролизеров, средняя для мембранных и самая высокая для ртутных. Обратное соотношение наблюдается для потребления пара в процессах с использованием диафрагменных, мембранных и ртутных электролизеров.

Чистота каустической соды является самой низкой для диафрагменного электролизера, на порядок лучше для мембранного и еще лучше для ртутного.

Приведенные BFD схемы трех типов электролизов хорошо известны и приводятся исключительно для единого понимания технологических потоков в каждом из них и в особенности для блоков приготовления рассолов.

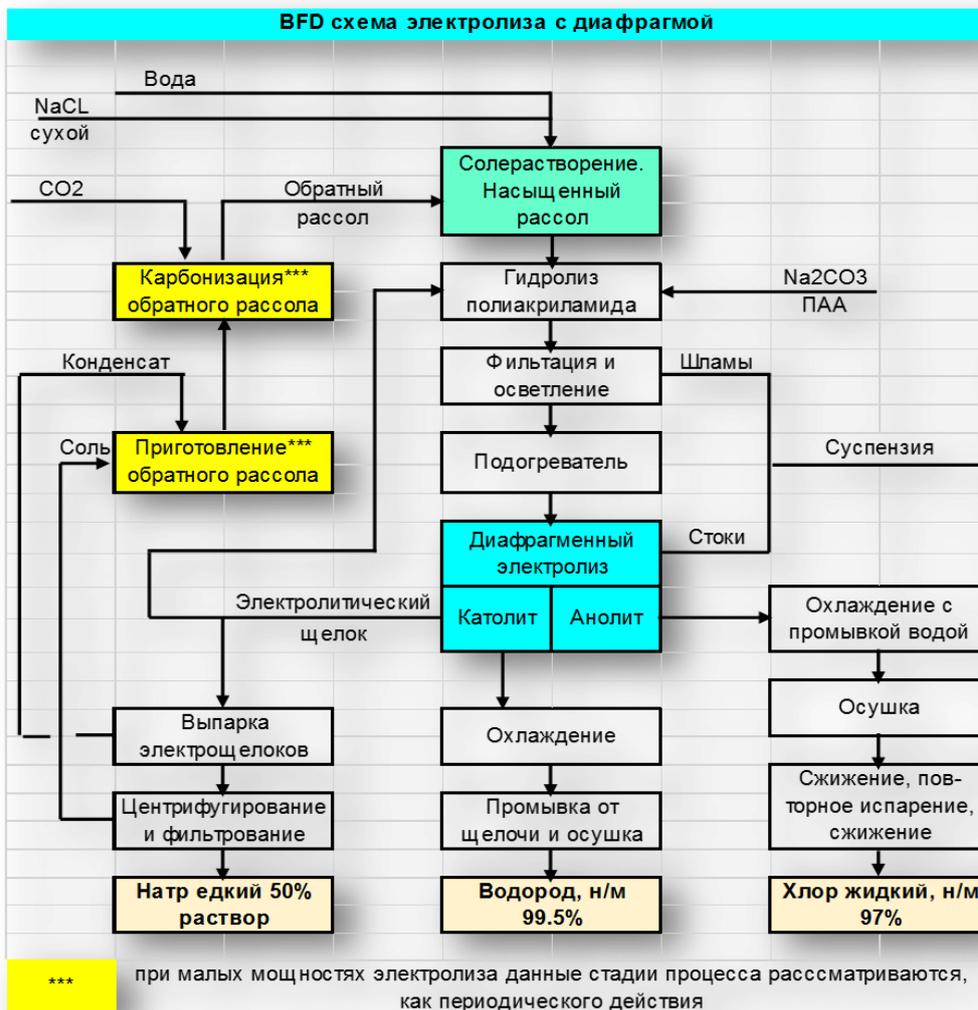
Схема 3А.

## 3А. BFD схема электролиза с ртутным катодом



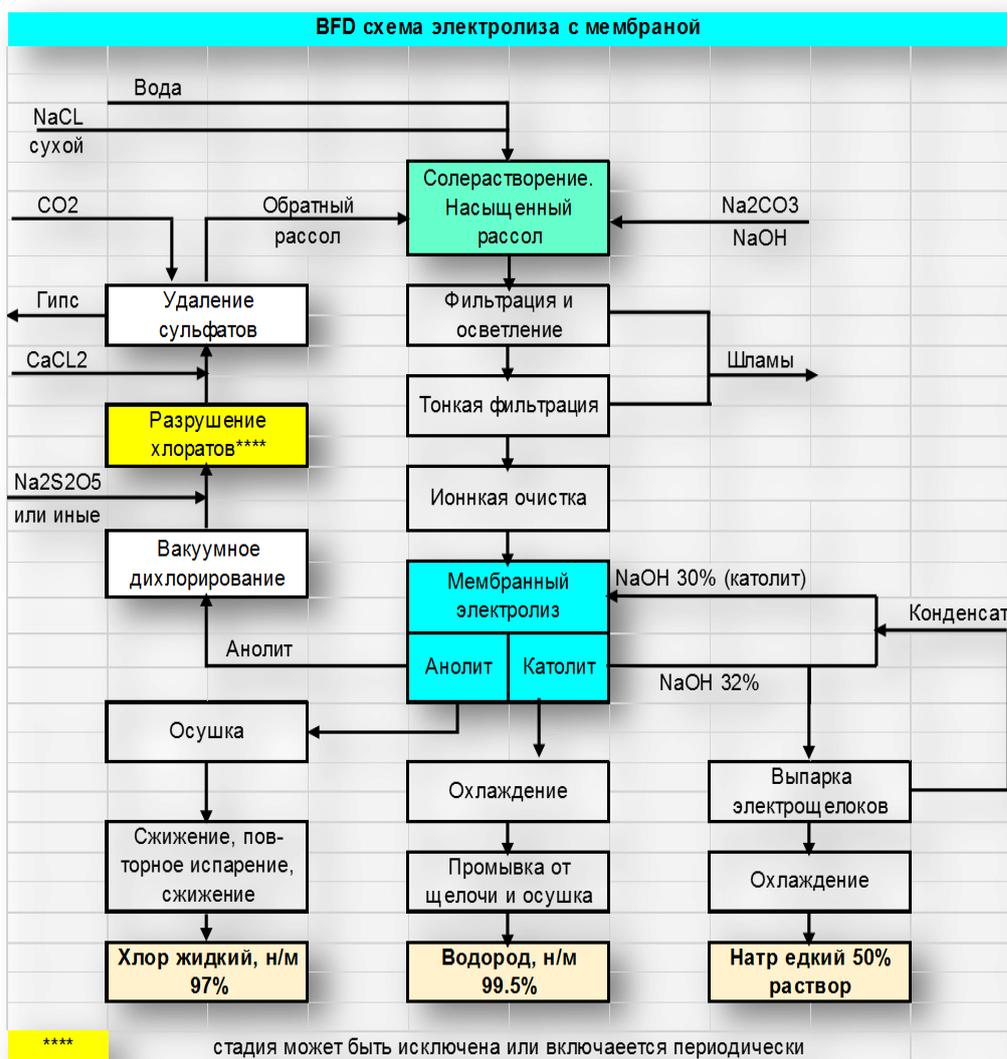
## Схема 3Б.

## 3Б. BFD электролиза с диафрагмой



## Схема 3В.

## 3В. BFD электролиза с мембраной



## 4. Подготовка рассола для электролизеров с диафрагмой и ртутным катодом

Приготовление искусственных рассолов при подземном растворении соляного пласта обходится примерно в 10 – 20 раз дешевле чем приготовление рассолов из твердой привозной соли. К сожалению гидроминеральное месторождение //////////////// осталось не доразведанным и рассуждения о его эксплуатации не имеют под собой основы до его сдачи в комиссию по запасам.

Добыча природных рассолов определяется не столько глубиной залегания рассольной линзы или горизонта, а концентрацией хлористого натрия, т.е затратами на водяной пар, который необходим на упаривание до требуемой концентрации, **Таблица 2.** Содержания в подземных рассолах тяжелых галогенов – йода, брома, щелочных и ще-

лично – земельных металлов – лития, стронция, а также соединения бора в концентрациях приемлемых для промышленного извлечения кардинально меняют рентабельность, но и существенно увеличивают капитальные затраты.

Согласно переданному **Техническому заданию №1** мембранный электролиз не планируется переводить на работу от природных рассолов, его работа будет продолжена в прежнем режиме с собственным блоком солерастворения привозной каменной соли.

Подземные рассолы гидроминерального месторождения *////////////////////* содержат значительные количества кальция и магния **и должны быть очищены для электролиза с диафрагмой**. При подготовке рассола необходимо предусматривать подачу щелочи *////* м3 и кальцинированной соды *////* м3 из расчета на 1 м3 сырого рассола. Карбонизированный обратный рассол после блока выпарки электролитических щелоков в какой то мере сможет заменить подачу свежих реагентов, количества легко будут определены в заводской лаборатории. Остаточное содержание ионов кальция и магния после очистки составит 4 – 5 мг/л, дальнейшее увеличение подачи соды и едкого натра не улучшит качество очистки рассола.

В одном из анализов подземных рассолов было указано очень высокое содержание магния, что может быть связано, как с ошибкой, так и с корректировкой горизонта отбора. Если высокие концентрации магния подтвердятся, то для его удаления используется известково – содовый способ очистки, который в значительной мере удорожает процесс.

Для ускорения образования твердых осадков  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , а следовательно и процесса осветления используются: карбоксиметилцеллюлоза, полиакриламид, сульфатцеллюлоза. Нет смысла менять применяемый вами полиакриламид и в случае очистки подземных рассолов, но его дозирование следует отработать в заводской лаборатории, так как различие по сравнению с артемовской солью будут безусловно.

При расчете операционных затрат на расход свежей соды для осаждения кальция из подземного рассола, мы предполагаем, что эти затраты будут значительные, поэтому рекомендуется обратить внимание на его карбонизацию в обычном скрубере с кольцами Рашига, тем более, что вы имеете  $\text{CO}_2$  в технологическом цикле производства.

Степень осветления рассола после двух используемых на фабрике фильтраций вполне удовлетворяет требованиям электролизеров с диафрагмой и ртутным катодом. Нет оснований сомневаться, что при осветлении подземных рассолов, что то изменится в худшую сторону.

Требования к рассолу для электролизеров с твердыми и ртутными катодами существенно различаются между собой. Для ртутного электролиза не требуется полное удале-

ние кальция, а постоянный контроль рассола на соотношение  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  позволит вести дозирование раствора хлористого кальция для нейтрализации  $\text{SO}_4^{2-}$ , или сульфата натрия при значительном избытке кальция  $\text{Ca}^{2+}$  совместно с обедненным анолитом. В случае принятия решения о замене диафрагменного электролиза на ртутный для получения едкого натра волокonnого качества и полного исключения выпарной установки следует учитывать, что и схема подготовки рассола будет изменена. Если в подземном рассоле содержание  $\text{CaSO}_4$  окажется выше, чем указано в **Таблице 2**, то придется проводить подкисление рассола до  $\text{pH} = 2 - 3$  перед подачей на электролизер.

Рассол, подаваемый в электролизеры с ртутным катодом, не должен содержать примесей амальгамных ядов (ванадия, хрома, молибдена и титана), анализы подземных рассолов приведенные в **Приложении 1** должны быть дополнены указанными элементами. Как известно, один из Российских подземных океанов рассолов с повышенными содержаниями йода, брома и лития тянется от Тобольска до Перми, содержание йода, брома и лития варьирует (и весьма значительно), но ни в одном из десятков анализов не обнаружены тяжелые элементы.

Подземные рассолы гидроминерального вашего месторождения *////////////////////////////////////* относятся к совершенно иной и мало изученной палеоструктуре *////////////////////////////////////*, что требует полного набора анализов, в том числе и по тяжелым металлам.

Специфические требования, предъявляемые к рассолу для электролиза с ртутным катодом показаны на **схемах 3А и 3Б**. В первую очередь это связано с тем, что на стадию приготовления и очистки рассола при ртутном электролизе поступает отработанный анолит содержащий активный хлор и соли ртути, т.е при замене диафрагменного электролиза на ртутный следует учитывать, что и схема подготовки рассола будет изменена. Циркуляция рассола ртутного электролиза составляет до  $35 \text{ м}^3$  на 1 т каустической соды по сравнению с  $9 \text{ м}^3$  на 1 т каустической соды для электролиза на твердом катоде, т. е потребуется пересчет трубопроводов на увеличение диаметров и аппаратов на время пребывания, а так же:

- *////////////////////////////////////*
- *////////////////////////////////////*
- *////////////////////////////////////*
- *////////////////////////////////////*

Очистка рассола для электролиза с ртутным катодом преследует две цели – это исключение амальгамовых ядов и исключение твердых взвесей, которые осаждаются на поверхности ртути, могут усиливать выделение водорода, загрязняющего хлор. Двойная

фильтрация используемая заводом в настоящее время для диафрагменного электролиза по своим показателям отвечает требованиям для ртутного электролиза.

Обеднённый анолит содержит 260 – 270 г/л хлорида натрия, 0,3 – 0,5 г/л активного хлора и до 10 – 20 мг/л хлоридов ртути. Если по каким либо причинам происходят частые остановки электролизеров то содержание ртути в анолите может возрасти до 40 – 60 мг/л.

Температура обедненного анолита составляет 75 – 85°C, а в электролизер необходимо подавать рассол при температуре не выше 55 – 65°C, т.е необходимо предусмотреть блок охлаждения, которого сейчас не имеется в наличии.

Удаление активного хлора из анолита **Схема 3А** это еще два дополнительных блока относительно электролиза с диафрагмой. Анолит, для исключения гидролиза хлора, подкисляют до содержания 0,1 – 0,2 г/л соляной кислотой и удаляют хлор в насадочных колоннах работающих под вакуумом. Хлор с верха колоны вместе парами воды подается в общий коллектор на охлаждение и сушку. Дальнейшее удаление хлора из анолита производится барботированием воздуха через анолит в гуммированной насадочной колонне. Расход воздуха достигает 1,5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> анолита, в итоге содержание активного хлора в анолите не превысит 20 мг/л.

Воздух от продувки пропускают через санитарную колонну, орошаемую раствором гидроксида натрия или кальция. Учитывая, что гипохлорит кальция является востребованным продуктом орошение известковым молоком является более предпочтительно. Воздух после санитарной колонны выбрасывается в атмосферу, а анолит после подкисления соляной кислотой подается на химическую доочистку одним из перечисленных методов:

- с использованием сульфида натрия, сульфита или гидросульфита натрия
- с использованием перекиси водорода
- с использованием кускового графита или активированного угля, который является наиболее эффективным, так как при 60 – 70°C достаточно нескольких секунд для полной сорбции хлора. Отрицательной стороной данного метода является то, что углем сорбируются ртутные соли и амальгамные яды, следовательно возникает вопрос утилизации отработанного адсорбента.

Сульфидное дихлорирование анолита основано на выделении ртути в виде нерастворимого сульфида, но его улавливание представляет значительную сложность, поэтому потери ртути в этом случае могут достигать 200 г/т, но имеются и преимущества, так как при обесхлоривании анолита осуществляется и очистка рассола от амальгамных ядов, которых так же выпадают в осадок в виде сульфидов. Однако хром не образует малорастворимых сульфидов, а сульфиды ванадия, германия, молибдена осаждаются

лишь частично, поэтому в зависимости от состава загрязняющих примесей режим осаждения тех или иных амальгамных ядов всегда подбирается индивидуально.

Учитывая, что перечисленные химические методы не являются технологически безукоризненными, а так же требуют использования коррозионностойких материалов, то в большинстве случаев ограничиваются вакуумированием или отдувкой воздухом, если экологические нормы соблюдаются для выбросов из санитарной колонны.

#### 5. Потенциал природных подземных рассолов // гидроминерального месторождения для извлечение йода, брома, лития, стронция, бора

В **Таблице 4** приведены возможности попутного извлечения йода, брома, щелочных и щелочно – земельных металлов – лития, стронция, а также соединения бора при использовании природных подземных рассолов // гидроминерального месторождения, как раствора хлорида натрия для электролиза. **Таблица 4** составлена на основе данных по **Таблице 2** предоставленной Заказчиком, и мы посчитали возможным опционально произвести расчет по извлечению указанных компонентов. При необходимости мы всегда можем выдать концептуальные решения, а возможно и исходные данные на проектирование по способам извлечения (при выполнении ранее указанных требований по количеству анализов), тем более, что данные решения в большинстве случаев являются типовыми и хорошо известными.

**Таблица 4.**

Потенциал использования подземного гидроминерального месторождения //		
Сырье и продукция	Ед. изм	Потенциал выпуска
Исходный подземный рассол	м3/год	1.000.000,00
CaCL <sub>2</sub>	т/год	35,452.01
MgCL <sub>2</sub>	т/год	13,166.15
LiCL	т/год	11,955.36
J <sub>2</sub>	т/год	21.59
Br <sub>2</sub>	т/год	1,175.72
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	т/год	33.575
SrSO <sub>4</sub>	т/год	570.08

В **Главе 4** указывалось на значительные экономические преимущества при использовании подземных рассолов, а в отношении ртутного электролиза это и возможность донасыщения анолита при его закачке в скважины. Донасыщение анолита при закачке в скважину можно сочетать с доочисткой от примесей магния в этом случае анолит подщелачивается. После более точного определения соотношения Ca<sup>2+</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> определяется дозирование в скважины вместе с анолитом растворов CaCl<sub>2</sub> или Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, для исключения загрязнения рассола ионами SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>. В противном случае рассол будет насыщенным CaSO<sub>4</sub> и работа цеха электролиза с ртутным катодом будет не эффективна.

*Dipl. engineer Alexander Gadetskiy, phone: +40 (748) 148 257; e-mail: alexander.gadetskiy@inbox.lv  
Certificate of registration on engineering activities and technical consultations № F4/172/17.02.2014*

<https://makston-engineering.ru/>

Повышение концентрации хлорида натрия при использовании подземных рассолов является не отъемлемой составляющей технологического цикла, принципиальный экономический аспект был указан в **Главе 4**. Загрязнённый поток анолита после дехлорирования и демеркуризации может быть направлен на смешение со свежим рассолом из скважины, поступающим на очистку и уже после этого на выпарку для повышения концентрации хлорида натрия. В случае попутного извлечения йода, брома, щелочных и щелочно – земельных металлов – лития, стронция, а также соединения бора часть анолита от ртутного электролиза и (или) карбонизированного обратного рассола от диафрагменного электролиза возвращается на стадию осаждения  $Fe(OH)_3$   $Al(OH)_3$ .

Загрязнения в рассольном цикле накапливаются при коррозии анодов, трубопроводов и оборудования, поэтому наиболее часто используемый материал рассольного цикла это сталь 10X17H13M2T (ЭИ-448). Для поддержания достаточной степени чистоты рассола из цикла выводят 5 – 10% рассола на очистку, а при работе с гидроминеральным сырьем выведенный из цикла рассол закачивается в скважины.

#### **6. Операционные затраты при выпуске 50% едкого натра для электролизов с твердым и жидким катодом, а также с мембраной.**

В **Таблице 5** приведены потребления энергоресурсов для полного цикла процессов диафрагменного мембранного и ртутного электролизов от стадии солерастворения твердой каменной соли до выпуска 1 т жидкого хлора. Расходы воды и пара приведены из расчета получения 50% едкого натра

**Таблица 5**

<b>Расходы энергоресурсов по типам электролизов на 1 тонну жидкого хлора</b>				
<b>Наименование</b>	<b>Ед. изм</b>	<b>Диафрагменный</b>	<b>Ртутный</b>	<b>Мембранный</b>
Потребляемая мощность	кВт*ч	///////	///////	///////
Плотность тока	кА/м2	///////	///////	///////
Вода деми или конденсат	м3	///////	///////	///////
Вода свежая	м3	///////	///////	///////
Пар водяной 25 бар	тонн	///////	///////	///////
Воздух технический	нм3	///////	///////	///////
Воздух Кип	нм3	///////	///////	///////
		///////	///////	///////

В **Таблице 6** приведены расходы материалов и химикатов для полного цикла процессов диафрагменного мембранного и ртутного электролизов от стадии солерастворения твердой каменной соли до выпуска 1 т жидкого хлора.

**Таблица 6**

Расходы материалов и реагентов по типам электролизов на 1 тонну жидкого хлора				
Наименование	Ед. изм	Дифрагменный	Ртутный	Мембранный
Сода кальцинированная	тонн	///////	///////	///////
Сода каустическая	тонн	///////	///////	///////
Хлорид бария	тонн	///////	///////	///////
Серная кислота	тонн	///////	///////	///////
Соляная кислота	тонн	///////	///////	///////
Графит	тонн	///////	///////	///////
Хлористый кальций	тонн	///////	///////	///////
Полиакриламид	тонн	///////	///////	///////
Рутений	тонн	///////	///////	///////
Ртуть	тонн	///////	///////	///////
Мембрана	тонн	///////	///////	///////

Некоторые из преимуществ и недостатков каждого из электролизов уже приводились в **Главе 2**, но для понимания операционных затрат требуется более глубокая проработка, так как хорошо известно, что любой лицензиар процесса не полностью указывает на все недостатки своего процесса, перечислим некоторые из них:

- затраты на очистку рассола и в случае очень чистой каменной соли для мембранного электролиза //////////////////////////////////////

- затраты на выпарку едкого натра для приготовления 50% едкого натра //////////////////////////////////////

- ионообменная способность перфторкарбоновой кислотной мембраны позволяет снизить до минимума ////////////////////////////////////// но что бы получить востребованные 50% потребуется понести затраты на выпарку

- эксплуатация мембранного электролизера под небольшим давлением уменьшает объем газа в электролизере, что приводит к понижению //////////////////////////////////////, но работа и под небольшим давлением вносит ряд существенных дополнений по технике безопасности

- хлор получаемый в процессе ртутного электролиза является абсолютно чистым и содержит только незначительные количества кислорода и водорода, т.е может использоваться без дополнительной очистки

- гидроокись натрия после разлагателя амальгамы ртути содержит небольшое количество хлорида и имеет концентрацию 50% без какой либо выпарки. Очистка от следов ртути производится чрезвычайно простым способом //////////////////////////////////////

- процесс с использованием ртутного электролизера потребляет больше всего электроэнергии, но это компенсируется //////////////////////////////////////

- работа с ртутным катодом предполагает //////////////////////////////////////

- потребление электроэнергии с использованием диафрагменных электролизеров приблизительно на 15% ниже, чем в процессе с использованием ртутных электролизеров, однако общее потребление электроэнергии в этом случае выше, так как  
 //

- получаемая после выпарки диафрагменных щелоков 50% каустическая сода содержит до 1% хлорида натрия, что не позволяет  
 //

- хлор получаемый при диафрагменном электролизе содержит кислород и для очистки требуется  
 //

- с целью продления срока службы и сохранности дорогостоящих мембран для мембранных электролизеров требуется  
 //

- концентрация каустической соды после мембранного электролиза 30 – 35% для доведения до обычной концентрации 50% требуется  
 //

- содержание хлорида натрия в каустической соде мембранного электролиза такое же низкое, как и в процессах с использованием ртутных электролизеров

- хлор получаемый при мембранном электролизе содержит кислород и для очистки требуется  
 //

- потребление электроэнергии для мембранного электролизера самое низкое по сравнению с диафрагменным и ртутным электролизами, но использование  
 // может невилировать это преимущество

### **Внимание!**

**Процесс с диафрагмой** позволяет использовать недорогой рассол  
 ///. Недостатками этого процесса являются: высокое потребление пара для концентрирования каустической соды в дорогостоящих многоступенчатых испарителях,  
 //

**Процесс с ртутным катодом** позволяет получать каустическую соду 50% концентрации непосредственно из электролизеров, хлор, каустическая сода и водород высокой  
 ///. Простая очистка рассола. Недостатком этого процесса являются:  
 //.

**Процесс с мембраной** отличается низким потреблением электроэнергии  
 ///. Недостатками этого процесса являются: использование дорогостоящих мембран и как следствие  
 //

## **7. Выводы и рекомендации применительно к производству //**

Выводы и рекомендации не относятся к имеющейся у вас относительно новой установке мембранного электролиза, все ниже перечисленное имеет отношение только к имеющемуся электролизу с диафрагмой и планируемому с ртутным катодом.

Комбинирование новой установки ртутного метода производства хлора с существующей диафрагменной, позволит вашему предприятию значительно сократить капиталовложения на строительство ртутного электролиза, исключить выпуск диафрагменного едкого натра выпуская каустик только волоконного качества. Данный вывод основывается на следующих положениях:

- комбинирование диафрагмы и ртути известны в практике и используются  
////////////////////////////////////
- соль стадии упаривания электролитических щелоков ////////////////////////////////////// использована для донасыщения анолита электролизеров с ртутным катодом
- //////////////////////////////////////
- //////////////////////////////////////
- ////////////////////////////////////// были получены при растворении обратной соли в обесхлоренном щелочном анолите с тщательной фильтрацией рассола //////////////////////////////////////. Полученный рассол выдерживал амальгамную пробу.
- //////////////////////////////////////
- //////////////////////////////////////
- //////////////////////////////////////

На **Схеме 4**, которую мы представляем опционально показано сравнение относительных капитальных затрат для трех процессов по производству хлора и щелочи. Затраты разбиты по стадиям процессов

**Схема 4.**

