

---

## **ВЛИЯНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКОЛОГИЮ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА**

---

**Подвязный Виктор Иванович,**

кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления Волгоградского государственного технического университета; krisis@vstu.ru

Рассмотрен комплекс технических мероприятий по модернизации производства каустической соды в электролизерах с ртутным катодом. Проведен анализ экономической эффективности производства в результате модернизации оборудования. Главным результатом внедрения мероприятий является сокращение в 2,4 раза потерь ртути и улучшения состояния окружающей среды.

**Ключевые слова:** производство каустической соды ртутным методом, модернизация электролизеров, сокращение потерь ртути, повышение экономической эффективности производства.

Анализ производства хлора и каустической соды в электролизерах с ртутным катодом позволяет выявить преимущества и недостатки этого метода и определить пути модернизации оборудования и совершенствования технологического процесса [1, 2, 3].

Получение хлора и каустической соды осуществляется в основном двумя способами: диафрагменным и ртутным. Оба способа основываются на электролизе водных растворов поваренной соли. В едином технологическом процессе образуются три продукта: электролитическая щелочь (раствор едкого натра), хлор и водород. Однако в литературе [8] нет однозначного определения преимуществ одного способа по сравнению с другим.

В электролизерах с ртутным катодом в отличие от диафрагменного процесса вырабатывается каустическая сода товарной концентрации не требующая дополнительного упаривания. Неизбежные при промышленной эксплуатации электролизеров изменения электрической нагрузки проходят без серьезных последствий для ртутного электролиза, что недопустимо в диафрагменных электролизерах. Ртутный метод по сравнению с диафрагменным имеет более низкую капиталоемкость и энергоемкость. Несмотря на перечисленные преимущества развитие ртутных электролизеров

по экологическим соображениям приостановлено.

Проблема ртутной безопасности является одной из приоритетных экологических, медицинских и социальных проблем. При успешном решении проблемы защиты окружающей среды способ получения хлора и каустической соды в электролизерах с ртутным катодом может существовать и развиваться. Ртутный электролизер состоит из двух электролитических камер.

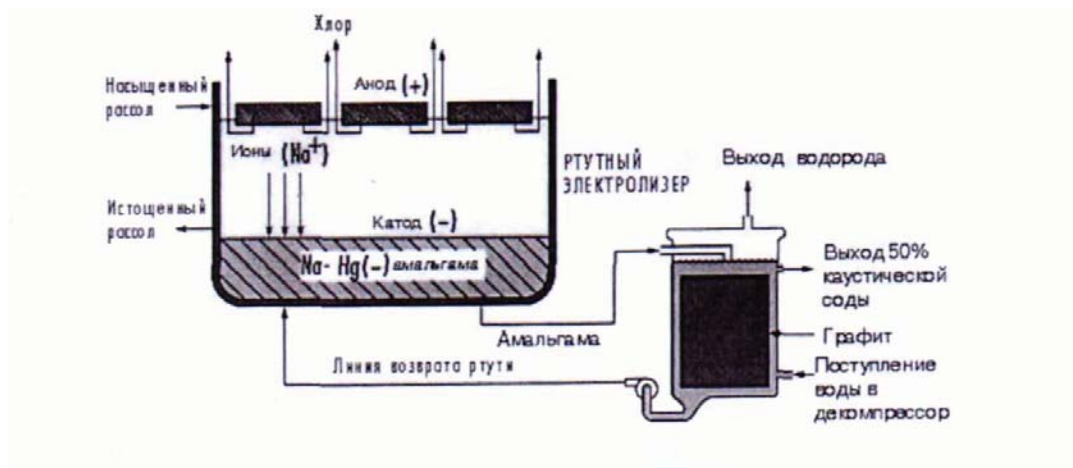
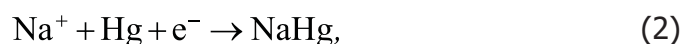


Рис. 1. Движение материальных потоков в ртутном электролизере

В первой камере в прианодном пространстве проходит окисление аниона хлора:

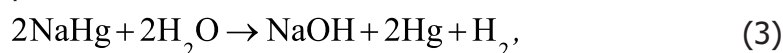


В первой камере на катоде получается амальгама:



Рассол непрерывно поступает в электролизер по гуммированному стальному наклонному желобу. Ртуть, являющаяся катодом, находится в непрерывной циркуляции в цикле насос – электролизер – разлагатель – насос.

Аноды подвешены в рассоле. На аноде образуется хлор, который из электролизной камеры поступает в систему накопления и переработки. На катоде образуется амальгама натрия. Амальгама направляется во вторую электрохимическую камеру, называемую разлагателем амальгамы, в которой проходит гидролиз амальгамы:



Производство каустической соды ртутным методом обычно комплектуется ста четырьмя электролизерами Р-101М. Основные детали электролизеров (крышки, полурамы, переточные коробки) изготовлены из стали. Защита их от агрессивной среды осуществляется гуммировкой, имеющей ограниченный срок службы, по истечению которого старая, загрязненная ртутью гуммировка удаляется, стальная основа подвергается ремонту и последующей гуммировке. Все работы по ремонту существующих гуммированных изделий связаны с выделением в окружающую среду паров

ртути и образованием отходов.

Материальный баланс ртути в производстве каустической соды ртутным методом представлен в табл. 1.

Таблица 1

Материальный баланс ртути в производстве  
каустической соды ртутным методом

Направление расхода ртути	Расчетная формула	Наименование и значение показателей
Масса ртути, необходимой для ведения технологического процесса, т.	$1,997 \cdot 104 = 207,688$	1,997 – масса ртути в одном электролизере, т; 104 – количество электролизеров.
Приход ртути в производство, т/год:	$0,00003787 \cdot 135000 = 5,112$	0,00003787 – норма расхода ртути на 1 тонну каустика (2007 г.), т/год.
Потери ртути в производстве, т/год: Со щелочью:	$(290948/100) \cdot 0,7 \cdot 10^{-4} = 0,204$	290948 – объем производства едкого натра с массовой долей 46,4%; $0,7 \cdot 10^{-4}$ – массовая доля ртути в едком натре, %
С водородом:	$(3402/0,0899) \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 0,002$	3402 – годовой объем производства водорода, т; 0,0899 – плотность водорода, кг/м <sup>3</sup> ; $0,05 \cdot 10^{-6}$ – массовая концентрация ртути в водороде, кг/м <sup>3</sup> .
С отработанной серной кислотой:	$0,0327 \cdot (0,02/1657) \cdot 135000 = 0,053$	0,0327 – массовая концентрация ртути в отработанной серной кислоте, кг/м <sup>3</sup> ; 0,02 – норма расхода серной кислоты на 1 тонну каустика, т; 1657 – плотность серной кислоты (76%) при 45° С, кг/м <sup>3</sup> ;
С огарком	$(117/100) \cdot 0,04 = 0,047$	117 – массовый расход огарка, т/год; 0,04 – массовая доля ртути в огарке, %
С выбросами в атмосферу	0,637	0,637 – годовой выброс в атмосферу по данным инструментального анализа, т
С твердыми отходами (шламами)	$(1042,2 \cdot 365 \cdot 0,04) / (1000 \cdot 100) = 0,152$	1042,2 – массовый выход твердых отходов (шламов) цеха по производству ртутного каустика, кг/сутки 0,04 – массовая доля ртути в твердых отходах, %
С ртутьсодержащими стоками:	$435,3 \cdot 365 \cdot 25,28 \cdot 10^{-6} = 4,017$	435,3 – объем откачиваемых стоков, м <sup>3</sup> /сутки; $25,28 \cdot 10^{-6}$ – массовая концентрация ртути в стоках, т/м <sup>3</sup> .
Суммарные годовые потери ртути:	5,112 т.	

Анализируя баланс ртути, можно сделать вывод о том, что большая часть ее выводится из технологического процесса с ртутьсодержащими стоками (78,6%), с выбросами в атмосферу (12,5%) и с твердыми отходами (шламами), которые вывозятся на полигон (3%). Очистка сточных вод от ртути осуществляется сульфидным методом с переводом металлической и ионной ртути в нерастворимую сульфидную форму.

Электролизеры Р-101М имеют существенные эксплуатационные недостатки, к числу которых следует отнести [3, 6]:

- значительные потери ртути в окружающую среду, что снижает экологическую и промышленную безопасность технологических процессов и ухудшает условия труда персонала;
- высокий сырьевой и энергетический индекс;
- высокие трудовые затраты на ремонт и гуммирование электролизеров;
- значительное водопотребление и водоотведение.

Указанные недостатки требуют поиска альтернативных технических решений, направленных на создание новых или модернизацию действующих электролизеров.

В соответствии с Российской программой организации инвестиций в оздоровление окружающей среды (РПОИ) необходимо модернизировать существующие электролизеры, на которых вырабатывается ртутная каустическая сода.

Итальянская фирма Оронцио Де-Нора (CFE s.r.l.), используя полимерный материал – Telen (фирмы Chem-Tech), изготавливает новые детали электролизеров (крышки, полурамы, передаточные коробки) [3], которые в настоящее время изготавливаются из стали. Детали электролизеров, изготовленные из полимерного материала, обладают увеличенным (более чем в два раза) сроком службы, не адсорбируют ртуть, и исключают затраты на утилизацию загрязненных ртутью отходов резиновой гуммировки [4, 5].

Первый прототип полимерных переточных коробок был поставлен Chem-Tech [4] швейцарской компании Novartis в 1997 г., и был установлен на электролизере DE-NORA типа 12 М 2. Эта переточная коробка прослужила до начала 2003 г., когда ее вернули на Chem-Tech для проведения разрушительных испытаний, даже, несмотря на то, что узел все еще был в хорошем состоянии для нормального использования.

Проведенные испытания показали, что в процессе шестилетней эксплуатации полимерное покрытие осталось практически неизменным, обеспечив необходимое сопротивление материала при использовании в конструкции электролизера.

В ходе испытаний был определен гарантийный срок использования полимерных покрытий деталей электролизеров – не менее 10 лет.

В конце 2006 г. на 15 предприятиях Европы, вырабатывающих ртутную каустическую соду, были заменены детали, изготовленные из гуммированной

стали, на полимерные. Эта замена коснулась:

- переточных коробок на входе;
- переточных коробок на выходе;
- крышек и боковых стенок;
- некоторых более мелких деталей.

Конструкция новых переточных коробок вместе с организацией постоянной промывки коробок и применением устройства для чистки катода, практически исключает необходимость периодического открытия рабочих полостей электролизера и минимизирует непосредственную эмиссию ртути в атмосферу.

Для осуществления ремонтных работ электролизеров необходимо иметь участок по гуммировке и по ремонту отдельных элементов электролизеров, что создает условия для достаточно точного определения затрат по указанным работам до и после осуществления модернизации оборудования. Расчеты показывают, что годовой экономический эффект по гуммировочным работам составит 5626 тыс. руб., по другим ремонтным работам – 17791 тыс. руб. при эксплуатации ста четырех модернизированных электролизеров.

Основной целью проекта модернизации является сокращение эмиссии ртути в окружающую среду и значительное снижение текущих затрат в рассматриваемом комплексном электрохимическом производстве. Для решения этой задачи предусматривается выполнение следующих мероприятий:

- модернизация электролизеров Р-101М путем замены крышек, боковых стенок, передаточных коробок на аналогичные изделия, изготовленные из полимерного материала, обладающего увеличенным (более, чем в два раза) сроком службы и не адсорбирующего ртуть;

- оснащение электролизеров системами автоматического регулирования межэлектродного расстояния (МЭР). В настоящее время в процессе работы электролизеров осуществляется ручная регулировка МЭР. Внедрение системы автоматического подъема группы анодов обеспечивает защиту электролизеров от короткого замыкания;

- увеличение межремонтного пробега электролизеров до 48 – 56 месяцев. Сокращение продолжительности ремонта электролизеров увеличивает срок их службы и позволяет сократить эмиссию ртути из технологического цикла в окружающую среду;

- создание возможности применять устройство для чистки катода от отложений и как следствие, исключения необходимости периодического открытия электролизеров для чистки и промывки;

- снижение расхода ртути на тонну 100% каустической соды в 2,4 раза.

В границах инвестиционного проекта по модернизации электролизеров используются современные материалы и конструктивные элементы без изменения технологического принципа работы. Наличие новых площадей

и инфраструктуры, а также ее изменения не требуется, в связи, с чем отсутствует необходимость изменения проектной документации. Срок монтажных работ по модернизации электролизеров определен в 2,5 года.

Модернизация производится только на основании поставленного оборудования компанией CFE s.r.l., Италия, и не требует каких-либо иных видов сырья, материалов или иных ресурсов. Модернизация электролизеров по технологии «Де-Нора» происходит поэтапно в количестве 4 единиц в месяц.

Объем снижения потребляемой электроэнергии от реализации проекта за счет снижения напряжения между электродами с 4,7В до 3,56В в расчете на год составит 131275,47 тыс. кВт/час.

Общий объем инвестиций на модернизацию электролизеров составляет 26553904,11 \$, в т.ч.

- за счет собственных средств предприятия – 8036916,74 \$;
- за счет кредита – 18516987,37 \$.

Период кредитования составляет 5 лет. Погашение основного долга ежеквартальное, в течении 4-х лет, начиная со 2-го года с момента первого транша. Погашение процентов за кредит предусмотрено ежемесячное.

Реализация данного проекта позволяет достигнуть следующих результатов:

- полностью исключить ручную регулировку межэлектродного расстояния в процессе работы электролизеров путем внедрения системы автоматического подъема группы анодов и как следствие обеспечить защиту электролизеров от короткого замыкания;
- обеспечить сокращение эмиссии ртути при ремонтах и промывках электролизеров за счет применения материалов, не поглощающих ртуть;
- повысить межремонтный пробег оборудования до 48-56 месяцев, сократить продолжительность ремонта электролизеров и увеличить срок их службы, что позволяет сократить эмиссию ртути из технологического цикла в окружающую среду;
- обеспечить возможность применения устройства для чистки катода от отложений и как следствие, исключить периодическое открытие электролизеров для чистки и промывок.

Расчеты показывают, что ежегодный расход ртути находящийся в обороте может быть снижен с 5,112 т до 2,13 т за счет снижения имеющейся расходной нормы ртути на каустическую соду в 2,4 раза, уменьшения ртутьсодержащих отходов производства в 2,5 раза, сокращения объема сточных вод, содержащих ртуть в 2,4 раза. Модернизация электролизеров значительно снизит концентрацию паров в производственных помещениях.

Произведены расчеты экономической эффективности от осуществления модернизации электролизеров по традиционно сложившемуся кругу показателей [7]:

- чистый произведенный (дисконтированный) эффект – как разность между приведенным денежным доходом от реализации проекта и инвестициями;
- обыкновенный срок окупаемости инвестиций, определяемый периодом времени возврата инвестиций;
- дисконтированный срок окупаемости инвестиций определяет число лет, в течение которых инвестиция будет погашена кумулятивным доходом;
- индекс рентабельности инвестиций, характеризующий уровень доходов на единицу затрат;
- внутренняя норма прибыли инвестиции представляет такое значение коэффициента дисконтирования, при котором чистый приведенный эффект равен нулю.

Полученные расчетным методом экономические показатели проекта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные экономические показатели проекта

Наименование показателей	Значение
Период реализации проекта	6 лет
Период инвестиционной фазы	2,5 года
Общий объем инвестиций, в т. ч.:	26 553 904 \$
собственные средства	8 036 917 \$
заемные средства	18 516 987 \$
Период кредитования	5 лет
Чистая прибыль (экономический эффект от реализации проекта) за период планирования	19 919 628 \$
Срок окупаемости обыкновенный (PP)	4,3 года
Срок окупаемости дисконтированный (DPP)	5,4 года
Чистый дисконтированный доход (NPV)	2 341 835 \$
Внутренняя норма прибыли инвестиций (IRR)	17%
Индекс рентабельности инвестиций (PI)	1,09

Анализ показателей экономической эффективности позволяет сделать вывод о целесообразности осуществления разработанных мероприятий по модернизации электролизеров. Главным результатом внедрения мероприятий является сокращение потерь ртути более, чем в два раза, что значительно улучшит состояние окружающей среды. Опыт модернизации оборудования может быть использован на хлорных производствах, выпускающих каустическую соду ртутным методом.

**Список источников**

1. Якименко, Л.М. Справочник по производству хлора, каустической соды и основных хлорных продуктов [текст] / Л.М. Якименко, М.И. Пасманик. – М: Химия, 1976.
2. Якименко, Л.М. Производство хлора, каустической соды и неорганических

хлорпродуктов [текст] / Л.М. Якименко. – М.: Химия, 1989.

3. Афанасьева, Р.А. Новые направления в производстве хлора, каустической соды и конструирования электролизеров [текст] / Р.А. Афанасьева // Химическая технология. – 2006. – №3. – С. 18 – 26.

4. Зинченко, С.А. Техническая оснащенность промышленных предприятий и показатели экономической эффективности [текст] / С.А. Зинченко // Управление производством. – 2008. – № 7. – С. 16 – 21.

5. Искоруев, А.М. Методы оптимизации производства [текст] / А.М. Искоруев // Управление производством. – 2007. – № 12. – С. 35 – 42.

6. Ляхович, О.С. Зарубежный опыт промышленной реструктуризации [текст] / О.С. Ляхович // Главный механик. – 2007. – № 4. – С. 27 – 35.

7. Ковалев, В.В. Методы оценки инвестиционных проектов [текст] / В.В.Ковалев. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 144 с.

8. Зимин, В.М. Хлорные электролизеры [текст] / В.М. Зимин, Г.М. Камарьян, А.Ф. Мазанко. – М.: Химия, 1984. – 304 с.



---

# **INFLUENCE OF EQUIPMENT UPGRADING ON THE ECOLOGY OF THE ENVIRONMENT AND ECONOMIC EFFICIENCY OF PRODUCTION**

---

**Podvyazny Viktor Ivanovich,**

Ph.D. of Economy, Associate Professor of the Chair of Economy and Management of Volgograd State Technical University; [krisis@vstu.ru](mailto:krisis@vstu.ru)

The complex of technical measures to modernize the production of caustic soda electrolysis with mercury cathode. Economic efficiency of production as a result of modernization is analyzed. The main result of the introduction of measures is a reduction of 2.4 times the losses of mercury and environmental improvements.

**Keywords:** Production of caustic soda by mercury method, modernization of electrolyzers, reduces mercury losses, increasing of economic efficiency.