

**Ягуд Б.Ю., Эбериль В.И., Янин Е.П., Потапов И.И. Стратегия сочетания экономических и экологических подходов при модернизации хлорно-щелочного производства в России // Экономика природопользования, 2012, № 2, с. 10–25.**

Производство хлора и каустической соды относится к базовым отраслям экономики Российской Федерации. Хлор в чистом виде или в форме водородных растворов (гипохлоритов) применяется в процессах водоподготовки и очистки сточных вод, а также в форс-мажорных обстоятельствах – в качестве исключительно надежного средства в борьбе с микробиологическими инфекциями, распространяющимися через воду. Он является исходным сырьем для производства множества продуктов, используемых в самых различных отраслях народного хозяйства. В свою очередь, продукты хлорпереработки применяются как непосредственно, так и в качестве полупродуктов для получения конечных товаров в широком диапазоне – от изделий массового спроса до продукции специального назначения. Хлор и его производные используются также как промежуточные ингредиенты в производстве многих конечных продуктов, которые, будучи жизненно необходимыми для народного хозяйства, сами в своем составе хлор не содержат.

В настоящее время хлорная отрасль в нашей стране характеризуется следующей структурой: 58% хлора на 11 предприятиях производится по диафрагменному методу, 26% на 3 предприятиях – ОАО «Каустик», г. Волгоград, ОАО «Каустик», г. Стерлитамак и ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк» (бывший «Завод полимеров Кирово-Чепецкого химкомбината») – по ртутному методу (причем на первых двух из них параллельно функционируют также и диафрагменные производства), 16% по мембранному методу (на ОАО «Саянскхимпласт», г. Саянск Иркутской обл., где в 2006–2007 гг. была успешно осуществлена конверсия ранее действовавшего производства по ртутному методу). Материально-техническая база производств по диафрагменному и ртутному методам характеризуется как значительным физическим износом, так и существенным отставанием от наиболее передовых современных образцов, что в существенной мере и определяет актуальность модернизации предприятий хлорной отрасли. Основной целью модернизации действующих производств является повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции, причем главными характеристиками, определяющими конкурентоспособность, являются высокое качество и потребительские свойства продукции, низкие затраты на ее изготовление, экологическая и технологическая безопасность.

Применительно к хлорной промышленности важнейшими составляющими модернизации следует рассматривать:

- совершенствование действующих производств на базе диафрагменного и ртутного методов;
- конверсия действующих производств на мембранный метод, наиболее совершенный и экологически безопасный в настоящее время;
- создание новых мощностей на базе только мембранного метода.

Если третий пункт в принципе не вызывает никаких сомнений, то первые два требуют уточнения заложенных в них подходов с учетом как экономических, так и экологических аспектов, чему и посвящено настоящее сообщение.

Прежде всего, следует отметить, что, если ориентироваться на наиболее передовые производства, все три метода получения хлора на сегодняшний день достигли достаточно высокого технического уровня. Многие из передовых разработок широко используются в промышленности разных стран, а их более широкое внедрение определяется прежде всего необходимыми для этого затратами.

Главными проблемами хлорных производств, прямо связанными с влиянием последних на эколого-гигиеническую обстановку, являются следующие :

- эмиссия ртути в окружающую среду в производствах по ртутному методу;
- использование асбеста в диафрагменных производствах;
- заметный вклад в глобальную эмиссию парниковых газов, определяемый высокой энергоемкостью всех хлорных производств, но особенно диафрагменных.

Следует отметить, что передовые современные решения позволяют существенно улучшить все эти показатели. Так, для сокращения эмиссии ртути существует и действует целый комплекс мер, связанных с доведением ее до минимума [8]. Их итоги, достигнутые на производствах, входящих во Всемирный Совет по хлору, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Эмиссия и потребление ртути хлорными предприятиями-членами Всемирного Совета по хлору, в граммах ртути на тонну хлора производственного потенциала (2010 г.)

Страна, регион	Кол-во заводов с ртутным катодом	Потенциал, тыс. т Cl <sub>2</sub> /год	Закупка / продажа	Потребление / использование	Эмиссия				Твердые отходы
					в про-дукцию	в во-ду	в воз-дух	ито-го	
Европа	34	3966	-32,03	3,75	0,07	0,15	0,66	0,88	9,66
США, Канада, Мексика	6	614	-27,76	0,56	0,07	0,04	1,81	1,93	9,91
Индия	7	188	5,29	14,91	0,04	0,00	0,59	0,64	2,88
Бразилия, Аргентин, Уругвай	7	318	75,72	50,38	0,09	0,05	4,68	4,82	10,52
Россия	3	402	87,96	69,19	0,09	0,07	0,83	1,00	55,77
Всего	57	5488	-16,44	11,27	0,07	0,12	1,03	1,22	12,88

Как видим, удельная эмиссия ртути в воздух, воду и с продукцией уже достигла практически минимальных величин – 1 г ртути и менее на тонну производимого хлора, прежде всего в Европе и России, тогда как вывод ртути в составе твердых отходов остается еще высоким, особенно в нашей стране. Вопрос о сокращении использования асбеста (в диафрагменных производствах) в принципе решается за счет перехода на асбополимерную диафрагму в производствах, использующих электролизеры с диафрагмой, осаждаемой на развитую катодную поверхность сложной формы, и на диафрагмы типа «Полирамикс», не содержащие асбест, наиболее пригодные в электролизерах фильтрпрессных конструкций [1]. Работы по расширенному внедрению асбополимерной диафрагмы на российских производствах находятся в настоящее время на начальном этапе, а производств, оснащенных фильтрпрессными электролизерами, в России нет. Сокращение расхода электроэнергии для всех трех методов производства хлора решается за счет широкого внедрения таких технических решений, предлагаемых компанией «Gruppo De Nora» (Италия), как: а) раздвижные аноды, позволяющие максимально сократить межэлектродное расстояние в диафрагменных электролизерах, б) аноды «Runner» и «SLM» в сочетании с автоматической системой регулирования напряжения, позволяющие решить аналогичную задачу в ртутных электролизерах, в) активация катодов, позволяющая изменить катодный потенциал в мембранных и диафрагменных электролизерах, а также комплекс

других решений, менее значительных, но преследующих ту же цель. Все это открывает пути модернизации действующих производств, сопровождающейся существенными экологическими и экономическими эффектами.

Как следует из сообщения [8], в котором были подведены итоги деятельности российских хлорных производств в рамках Глобального ртутного партнерства, и из данных табл. 1, главными и до сих пор еще не решенными задачами отечественных производств остаются, во-первых, необходимость существенного сокращения эмиссии ртути с твердыми отходами, во-вторых, необходимость дальнейшего снижения ее эмиссии в воздух, воду, продукцию. Важнейшим моментом является обеспечение надежного закрепления достигнутых результатов в будущем.

Решение первой задачи связано с давно назревшей необходимостью завершения начатой еще в 2008 г. и прерванной в связи с глобальным финансовым кризисом реконструкции отделения рассолоподготовки на ООО «ГалоПолимер», которая, в силу особенностей применяемой технологической схемы, до сих пор является главным источником вывода в отходы ртути в форме сульфида [6], а также с завершением перехода с сульфидного на ионообменный метод очистки сточных вод в полном объеме на Волгоградском «Каустике». Это позволит производствам России достичь передовых показателей эмиссии ртути в составе твердых отходов. Тем не менее в целях снижения токсичности перед захоронением все твердые и полужидкие отходы, содержащие ртуть в концентрациях ниже уровня, позволяющего утилизировать ее путем регенерации, следует подвергать обработке (стабилизации, солидификации), не допускать в процессе хранения отходов контакта их с поверхностными, грунтовыми и подземными водами. Решение второй задачи связано с насущной необходимостью ускорения модернизации электролизного парка. Эта модернизация должна привести не только к надежному сокращению эмиссии ртути, но и к снижению энергозатрат, а также к повышению уровня безопасности эксплуатации электролизеров. Действительно, на всех российских производствах в последнее время отмечены признаки усиления физического износа действующих электролизеров, не говоря уже о реальном отставании от лучших образцов передовых технических решений, применяемых в массовом масштабе за рубежом [3, 5]. Технические предложения по реализации подавляющего большинства указанных выше задач имеются, а на производстве в г. Волгограде модернизация уже началась [5], причем основной проблемой здесь является изыскание необходимых средств и организационных возможностей для реализации ее в полном объеме в приемлемые сроки.

Разумеется, содержание задач и конкретный объем необходимых работ на разных предприятиях различны. В частности, на ОАО «Каустик» (г. Стерлитамак) электролизеры, поставленные еще в 1977 г. компанией «De Nora» и усовершенствованные в дальнейшем за счет внедрения автоматической системы регулирования напряжения, созданной на базе существовавшей ранее кинематической части системы защиты от коротких замыканий и управляющей системы собственной разработки [2], пока сохраняют удовлетворительную физическую форму. Однако использование таких решений, как замена стальных гуммированных деталей на предлагаемые компанией «Gruppo De Nora» более стойкие и надежные литые детали, выполненные из материала TELENE<sup>®</sup>, является необходимым условием для сохранения работоспособности и повышения качества эксплуатации электролизеров, функционирующих уже более 30 лет. На ОАО «Каустик» (г. Волгоград) электролизеры Р-

101, оснащенные разлагателями амальгамы горизонтального типа, находятся в эксплуатации с 1968 г. В настоящее время, несмотря на проведенные в разные годы реновации и реконструкции отдельных узлов, их следует рассматривать как морально устаревшие, не отвечающие современным техническим решениям, обеспечивающим значительное и надежное сокращение как эмиссии ртути, так и расхода электроэнергии. Поэтому предпринимаемые заводом в сотрудничестве с компанией «Gruppo De Nora» усилия по их модернизации являются оправданными и актуальными [5, 8]. На ООО «ГалоПолимер» электролизеры Р-20М, оснащенные вертикальными разлагателями, но без системы автоматического регулирования напряжения, некогда наиболее надежные в отрасли [1], в настоящее время также морально (отчасти и физически) устарели. Наибольшую техническую сложность для их коренной модернизации представляет модернизация парка анодов и создание автоматической системы регулирования напряжения, что сдерживает решение задачи значительного сокращения расхода электроэнергии. В целом же весь комплекс проблем, стоящих перед этим предприятием, заставил его руководство приступить к серьезной проработке вопроса о конверсии хлорного производства на мембранный метод, что также значительно дороже модернизации действующих электролизеров. Тем не менее при любом решении необходимость реконструкции отделения подготовки рассола является первоочередной задачей. При этом технологическое и аппаратное оформление ее останется в основном одинаковым как для существующего, так и для конверсионного варианта. Различием будет лишь то, что в случае перехода на мембранный метод возникает необходимость введения дополнительной стадии глубокой очистки рассола от кальция и магния ионообменным методом. Таким образом, к настоящему моменту все российские производства пришли в целом к ясному пониманию стоящих перед ними технически вполне разрешимых задач и предпринимают активные усилия по их реализации.

Как указывалось выше, важнейшей проблемой, связанной как с экономикой, так и с экологией, является сокращение энергопотребления. Применительно к хлорной промышленности она выглядит следующим образом. Так, сравнение различных методов производства хлора по величине энергозатрат (одному из важнейших показателей технологического совершенства), сделанное на основе полученных от Международного энергетического агентства данных по 9 странам (крупнейшим производителям хлора, включающим как передовые индустриально развитые, так и бурно развивающиеся регионы), свидетельствует о том, что в среднем наиболее отстает по энергозатратам от мембранного именно диафрагменный метод (табл. 2).

Таблица 2. Величины энергопотребления в производствах хлора, приведенные к условиям 100%-го использования каждого из методов [11] \*

Метод производства	Энергопотребление, ГДж (кВт-ч)/т хлора			Разница по сравнению с мембранным методом, %
	пар	электроэнергия	общие	
Мембранный	1,9 (528)	10,0 (2778)	11,9 (3306)	0
Ртутный	0 (0)	12,7 (3528)	12,7 (3528)	7
Диафрагменный	6,4 (1778)	11,0 (3056)	17,4 (4834)	46

\* Данные соответствуют уровню 2001-2005 гг.

Средние величины современного энергопотребления на хлорных производствах России представлены в табл. 3, в которой наряду с показателями, характеризующими текущую картину, приведены значения энергопотребления, ожидаемые в результате полно-

масштабной модернизации действующих электролизеров в соответствии с существующими техническими предложениями, которые частично уже внедряются.

Таблица 3. Среднее энергопотребление на хлорных производствах России (1 – существующее, 2 – ожидаемое после модернизации)

Метод производства	Энергопотребление, кВт-ч/т хлора						Разница по сравнению с мембранным, %	
	Пар		Электроэнергия		Общее			
	1	2	1	2	1	2	1	2
Мембранный	418 <sup>*)</sup>	418 <sup>*)</sup>	2600	2600	3018	3018	0	0
Ртутный	0	0	3380	2900	3380	2900	12	-4
Диафрагменный	1430 <sup>**)</sup>	1430 <sup>**)</sup>	2870	2400	4300	3380	42	27

<sup>\*)</sup> – 0,36 Г кал/т Cl<sub>2</sub>

<sup>\*\*)</sup> – 1,23 Г кал/т Cl<sub>2</sub>

Из сравнения этих данных со среднемировыми, представленными в табл. 2, видно, что их величины в России несколько ниже, чем в среднем по миру, но степень несходства между энергопотреблением в диафрагменных и ртутных производствах по сравнению с мембранным методом существенно различается. Это обусловлено не только специфическими особенностями технологий, используемыми в отдельных развитых странах, но и тем, что в развивающихся странах производство, как правило, характеризуется высокими энергозатратами. Кроме того, российские показатели России во многом определяются низким уровнем энергопотребления на мембранном производстве ОАО «Саянскхимпласт», введенном совсем недавно с использованием наиболее передовых технических решений (электролизеры компании «Асахи Касей», Япония, технологическая схема компании SACS, Германия) [4]. Во всех случаях наибольшую разницу в энергопотреблении по сравнению с мембранным производством показывает производство по диафрагменному методу. Важным является и то, что величины энергопотребления в производствах и по ртутному и по диафрагменному методам, ожидаемые после их модернизации, должны сократить разницу по сравнению с мембранным способом, а предполагаемый разрыв между мембранным и ртутным методами даже изменится в пользу последнего. В этом случае, разумеется, можно ожидать, что предполагаемое улучшение показателей в результате намечаемого совершенствования может не всегда подтвердиться в полной мере, однако несомненным является то, что разрыв окажется весьма небольшим. Следует отметить, что несмотря на относительно благополучные показатели российских производств в части удельного энергопотребления по сравнению со среднемировым уровнем, эти показатели, касающиеся производств по диафрагменному и ртутному методам, отстают от наиболее передовых зарубежных. Кроме того, состояние отечественного парка электролизеров сейчас таково, что без проведения своевременной модернизации показатели их работы могут резко ухудшиться в ближайшее время. Необходимо подчеркнуть, что сокращение энергозатрат прямо связано с уменьшением текущих расходов на производство хлора и каустической соды, что влияет на себестоимость продуктов их переработки, а следовательно и на конкурентоспособность данной продукции как на внутреннем, так и на мировом рынке.

При решении вопросов о приоритетах проведения конверсии необходимо учитывать также целый комплекс других показателей, характеризующих различные методы производства хлора (табл. 4). Как следует из приводимой таблицы, выбор способа производства должен быть сделан индивидуально для каждого предприятия на основе тщательного ана-

лиза потребностей в продуктах с учетом их качества, сырьевых и энергетических ресурсов, в т. ч. стоимости и дефицитности электроэнергии постоянного тока, пара, их наличия и доступности, наличия и квалификации кадров, возможностей материально-технического обеспечения и инвестиционного потенциала, а также конъюнктурных соображений [1]. К последним, в частности, относятся и требования, предъявляемые различными экологическими организациями и движениями, требования, которые нередко выдвигаются на первый план, нередко отличаются максималистским и даже популистским характером. Здесь мы подходим к наиболее сложному, с нашей точки зрения, вопросу – вопросу о конверсии и о приоритетах в стратегии ее проведения.

Таблица 4. Сравнительная оценка методов производства хлора

Диафрагменный метод		Ртутный метод		Мембранный метод	
преимущества	недостатки	преимущества	недостатки	преимущества	недостатки
<p>Электролизеры наиболее просты в изготовлении и удобны в сборке, ремонте и эксплуатации.</p> <p>Наименее жесткие требования к качеству сырья и к чистоте питающего рассола.</p> <p>Возможность использования выпаренной соли высокой чистоты в других процессах, в т. ч. в ртутном и мембранном.</p>	<p>Высокий расход пара, обуславливающий наиболее высокие общие энергозатраты.</p> <p>Производит каустическую соду среднего качества.</p> <p>Высокий расход хлорида натрия.</p> <p>Негативная чувствительность электролизеров к колебаниям электрической нагрузки.</p> <p>Использование асбеста, являющегося в сухом и диспергированном виде канцерогенным веществом.</p>	<p>Отсутствует расход пара.</p> <p>Производит каустическую соду высшего качества.</p> <p>Невысокий расход хлорида натрия.</p> <p>Возможна эксплуатация электролизеров при меняющихся электрических нагрузках.</p> <p>В последние годы достигнуты значительные успехи в деле минимизации эмиссии ртути в атмосферу и воду, а в потенциале и сокращение расхода электроэнергии</p>	<p>Высокий удельный расход электроэнергии.</p> <p>Высокие требования к содержанию в питающем рассоле примесей тяжелых металлов и железа.</p> <p>Технология экологически небезопасна вследствие наличия в технологическом цикле больших объемов ртути и эмиссии ее в окружающую среду</p>	<p>Минимальные газбариты на единицу мощности.</p> <p>Минимальный удельный расход электроэнергии и общие энергозатраты.</p> <p>Качество получаемой каустической соды близко к ртутной.</p> <p>Невысокий расход хлорида натрия.</p> <p>Возможна эксплуатация электролизеров при меняющихся электрических нагрузках.</p> <p>Технология наиболее безопасна с экологической точки зрения.</p>	<p>Требуется доупарка производственного раствора каустической соды.</p> <p>Электролизеры требуют высокой точности в изготовлении и сборке.</p> <p>Технологическая обвязка электролизеров в целом сложна и занимает много места.</p> <p>Наиболее жесткие условия к чистоте питающего рассола (включая примеси кальция и магния), что требует обязательного введения стадии ионообменной доочистки.</p>

Прежде всего, безусловно, приоритетной остается необходимость конверсии тех ртутных производств, на которых эмиссия ртути остается высокой, а энергозатраты велики. В настоящее время в России таких производств нет. Даже проблемы с повышенным выводом ртути в твердые отходы и довольно высоким удельным энергопотреблением на ООО «ГалоПолимер» могут быть (при относительно небольших затратах) решены в пределах существующего ртутного производства.

Однако в последнее время ситуация осложнилась в связи с активизацией деятельности по подготовке международного юридически обязывающего документа – так называемой Глобальной конвенции по ртути, принятие которой в варианте, предлагаемом рядом международных неправительственных организаций и правительствами некоторых стран, может негативно отразиться на хлорной промышленности и привести не к ожидаемому сокращению глобальной эмиссии ртути, а к невольному увеличению ее. Дело в том, что во многих странах конверсия ртутных производств на мембранный метод, необходимость которой очевидна и вряд ли кем серьезно оспаривается, до сих пор проводилась, как правило, продуманно, добровольно и постепенно, без жестко установленных сроков, с учетом как состояния действующих производств, так и инвестиционных ресурсов предприятий (компаний). На технически передовых производствах она сопровождалась мерами по сохранению низкой эмиссии ртути в переходный период, демеркуризацией объектов и реме-

диацией территорий. Между тем, поспешные и непродуманные требования о ликвидации хлорных производств по ртутному методу, например к 2020 г., или даже в более сжатые сроки, могут привести к результатам, противоположным задуманным. «Ртутное» производство, как и любое хлорное производство, отличающееся наличием агрессивных коррозионно-активных сред, требующее постоянного поддержания оборудования в надлежащем состоянии и наличия высококвалифицированных кадров, является особо чувствительным к любому ослаблению усилий по его эффективному и безопасному функционированию. В случае же осуществления всеобщей (высокозатратной и длительно окупаемой) конверсии, тем более с жестко фиксированными сроками, сокращение усилий по поддержанию высокого технического уровня будет, к сожалению, неизбежным. Нечто подобное уже имело место в конце 1970-х – начале 1980-х гг., когда надежды на ускоренное совершенствование и внедрение мембранного метода привели в СССР к падению статусности ртутного метода и сокращению финансирования таких производств. Это обусловило снижение их технического уровня и технологической дисциплины, что предопределило рост потребления и эмиссии (до 1,5 кг на тонну хлора) ртути на них. Данная ситуация была переломлена лишь к середине 1980-х гг., но негативные последствия ее заметны и по сей день.

Таблица 5. Современная глобальная техногенная эмиссия ртути, т/год [22]

Источники	т/год	Доля, %
Стационарное сжигание (топлива и др.)	810,0	34,8
Добыча золота	400,4	17,3
Цветная металлургия	310,0	13,4
Производство цемента	235,7	10,2
Размещение отходов	187,4	8,1
Хлорно-щелочное производство	162,9	7,0
Производство ртути	50,0	2,2
Производство чугуна и стали	43,2	1,8
Горение угольных отвалов	32,0	1,4
Производство винилхлоридмономера	24,0	1,0
Другие	64,6	2,8
Общее	2320 *	100

\* Современная глобальная эмиссия ртути из природных источников оценивается в 5207 т/год, при этом реэмиссия техногенной ртути оценивается в 2000-4000 т/год.

Обеспокоенность различных экологических организаций высокой техногенной эмиссией ртути понятна и объяснима, поскольку, с одной стороны, во многих странах мира производства хлора на электролизерах с ртутным катодом длительное время являлись серьезными источниками загрязнения внешней среды ртутью, а с другой стороны, у них существует альтернатива в виде мембранного метода. В то же время следует учитывать тот факт, что за последние 15–20 лет хлорно-щелочные производства, в силу различных причин, главными из которых являются их постепенное сокращение и техническое совершенствование, утратили, как это видно из табл. 5, свое лидирующее положение в качестве источника техногенной эмиссии ртути в окружающую среду. Особенно резко сократилась ее доля в общей техногенной эмиссии в атмосферу в России (табл. 6).

Наиболее серьезной проблемой, связанной с действующими хлорными производствами, является наличие в технологическом цикле больших количеств металлической ртути, которая может быть потенциальным объектом хищений в целях использования ее в различных кустарных производствах и в преступных целях. Однако с этим не только

можно, но и следует бороться путем усиления учета, контроля, охраны объектов и обеспечения прозрачности торговых сделок по ртути. Согласно оценкам [7, 21], на действующих в настоящее время российских производствах в отходах, накопившихся на полигонах и в грунтах промплощадок, общее количество ртути превышает 1500 т, а на ранее действовавших (ныне закрытых) – составляет порядка 4500 т. Количество ртути, эмитируемой от этих источников в атмосферу и водную среду, практически никогда не оценивалось, за исключением исследований, выполненных в районе г. Усолье-Сибирское.

Таблица 6. Современная эмиссия ртути в атмосферу от различных видов деятельности в России

Вид деятельности	Объем, т/год
Сжигание каменного угля [18]	11,5
Цветная металлургия [14]	7,4
Производство цемента [13]	3,1
Черная металлургия [15]	1,9
Использованные ртутные термометры [16]	1,75
Производство кокса [17]	1,3
Хлорно-щелочная промышленность [8]	0,32

На действующих хлорных производствах, как известно, регулярно осуществляются работы по (технически и экономически обоснованному) извлечению ртути из отходов производства и лома, образующегося при ремонтах, реновации и реконструкции оборудования и строительных конструкций, а часто и из загрязненных грунтов, что является экономически полезным для предприятий вследствие сокращения закупок ртути и, в перспективе, полного отказа от них. Более того, в данном случае, если можно так сказать, ртутное загрязнение находится под своеобразным контролем. В случае закрытия этих производств или конверсии их на мембранный метод затраты на проведение демеркуризационных работ и ремедиацию территорий, оставаясь высокими, оказываются прямой обузой для предприятия, дополнительно усугубляющей и без того высокие затраты на создание на их месте производств по мембранному методу. Так, практика ликвидации или перепрофилирования производств, использующих ртуть в технологических целях, показала, что полигоны хранения ртутьсодержащих отходов (PCO), а часто и сами бывшие производственные площадки, в силу различных причин, как правило, перестают контролироваться, становясь источниками эмиссии ртути и миграции ее за пределы полигонов и промплощадок.

Наглядными примерами негативного развития ситуации на производствах, прекративших свою деятельность, является судьба производственных зданий, промышленных площадок и полигонов хранения PCO на двух предприятиях, ранее действовавших на территории СНГ и закрытых в 1990-х гг. Одно из них – производство на заводе «Химпром» в г. Павлодаре (Республика Казахстан) – было закрыто в начале 1990-х гг.; другое – на ОАО «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское Иркутской области) – в 1998 г. Так, если на ОАО «Саянскхимпласт» (г. Саянск Иркутской области) выполнение работ по демеркуризации объектов и ремедиации территории проходило (в 2005–2008 гг.) одновременно с конверсией производства на мембранный метод, то аналогичные работы на указанных выше предприятиях были (в основном из-за нехватки средств) начаты со значительным опозданием. В г. Павлодаре они завершились (не полностью) в 2006 г., а в г. Усолье-Сибирское находятся на самой начальной стадии. Имеющиеся данные о финансовых затратах, связанных с модернизацией действующих производств, с их конверсией, а также о затратах



на мероприятия по демеркуризации объектов и ремедиации территорий представлены в табл. 7. Принимая во внимание близость величин производственных мощностей рассматриваемых производств и объемов накопившихся на них РСО, выводы из анализа представленных данных можно рассматривать как достаточно корректные. Прежде всего, затраты на демеркуризацию и ремедиацию, проводимые одновременно с конверсией или непосредственно после ликвидации производства, оказываются существенно более низкими по сравнению с затратами на аналогичные мероприятия, проводившиеся с опозданием. В рассмотренных случаях они в 6–10 раз ниже, хотя вполне вероятно, что с учетом более благоприятных гидрогеологических условий, в которых находится «Саянскхимпласт», эта разница в сопоставимых условиях будет несколько меньше. В сумме затраты на конверсию, демеркуризацию и ремедиацию на одно производство могут составить  $100 \pm 20$  млн. долл. США, тогда как общие затраты на модернизацию трех действующих в России производств составят примерно 19 млн. долл. США. В последнем случае текущая технологическая эмиссия ртути на них сократится до минимума, но проблемы, связанные с ее эмиссией с зараженных территорий, полигонов и свалок, останутся, как, впрочем, и в случае конверсии или закрытия производств.

Таблица 7. Сравнительные величины затрат на модернизацию и конверсию ПХРК и ремедиацию территорий ликвидированных объектов, млн. долл. США

Предприятие	Затраты		
	на модернизацию	на конверсию	на демеркуризацию и ремедиацию
«Каустик», г. Стерлитамак	3 (проект)	–	13 (оценка)
«Каустик», г. Волгоград	13 (проект)	–	30 (оценка)**
«ГалоПолимер Кирово-Чепецк»	3 (проект)*	–	13 (оценка)
«Саянскхимпласт», г. Саянск	–	75 (факт)	5 (факт)
Усольехимпром», г. Усолье-Сибирское	–	–	29 (проект)
«Химпром», г. Павлодар (Казахстан)	–	–	50 (факт)

\* Затраты только на реконструкцию отделения подготовки рессола.

\*\* Затраты с учетом возможных ремедиационных мероприятий на гидротехнических объектах (аналогия с заводом «Химпром» в г. Павлодаре).

Безусловно, практическая реализация усилий в любом из указанных направлений, если они ориентированы на достижение конкретных и эффективных результатов, невозможна без активной поддержки государственных и общественных структур [9, 10]. Так, с целью сокращения затрат на коренную модернизацию электролизеров государство могло бы оказать предприятиям помощь путем освобождения их от ряда налогов, создания благоприятных условий для долгосрочных российских и зарубежных инвестиций в модернизационные проекты через банки и финансово-кредитные учреждения. Кроме того, учитывая тот факт что в настоящее время отечественные производители не готовы к выпуску таких необходимых для модернизации ртутных электролизеров элементов, как литые переточные коробки, кинематическая часть автоматической системы регулирования напряжения, аноды «SLM» и ряда других, импортное оборудование, предназначенное для установки на модернизируемые электролизеры, следует освободить от ввозных пошлин и НДС. То же должно относиться и к анодам раздвижной инструкции для диафрагменных электролизеров.

Есть все основания полагать, что существующие отечественные хлорно-щелочные производства в последние годы делают много в области сокращения потребления и эмис-

сии ртути и обладают заделами и техническими возможностями для их дальнейшего уменьшения до передового мирового уровня. Особо следует отметить тот факт, что усилия предприятий, направленные на решение экологических проблем и нередко совпадающие с их коммерческим интересом (сокращение потребления ртути и электроэнергии), являются, как правило, добровольными. Поэтому и решения о конверсии этих производств на мембранную технологию должны приниматься продуманно, обоснованно, с учетом возможностей и желания предприятий. В частности, в густонаселенной Европе, где доля ртутного метода в общей мощности хлорных производств довольно высока, конверсия на мембранный метод проводится неуклонно, но осторожно и медленно, при сохранении высокого технического уровня действующих производств и поддержания величин потребления и эмиссии ртути на них на минимально возможном уровне. В России, по нашему мнению, сохраняя неизменным курс на создание новых производств только на основе мембранного метода, необходимо поддерживать действующие ртутные производства на должном техническом уровне, сокращать потребление ртути на них и активно проводить работы по ее регенерации из отходов, демеркуризации оборудования и строительных конструкций и ремедиации территорий, прилегающих к производствам.

Как отмечалось ранее [11], при современном состоянии техники конверсия ртутного метода на мембранный обеспечивает сокращение энергопотребления значительно меньше, чем при конверсии диафрагменного на мембранный. В тоже время, сокращение энергопотребления имеет не только экономическое, но и экологическое значение, поскольку существенно снижает эмиссию различных поллютантов, включая ртуть и парниковые газы, выделяющихся при получении энергии из природных ресурсов (угля, газа, нефти). Отсюда следует предпочтительность конверсии на мембранный метод прежде всего производств, использующих диафрагменный метод. Этот вывод, однако, противоречит тенденции преимущественной конверсии не диафрагменных, а ртутных производств, что определяется, прежде всего, экологическими соображениями, связанными с важностью сокращения эмиссии ртути в окружающую среду. Тем не менее, несколько не сомневаясь в важности этих доводов, не говоря уже о правильности общей стратегии приоритета мембранного метода перед остальными способами производства хлора, необходимо учитывать также и другие экономические и экологические аспекты. В частности, следует иметь в виду значительные и долговременные экономические преимущества конверсии диафрагменных производств, которая попутно решала бы и такие экологические проблемы, как отказ от использования асбеста и сокращение эмиссии углекислого газа вследствие снижения энергетических расходов. Поэтому исключительный приоритет перевода на мембранный метод преимущественно ртутных производств может представляться не всегда оправданным. Особенно это касается тех производств, на которых технические и организационные мероприятия по снижению потребления ртути и эмиссии ее в окружающую среду уже привели или несомненно приведут к их сокращению до минимально возможных величин. Вообще, экологические проблемы, создаваемые действующими хлорными производствами, следует решать комплексно и всесторонне, избегая излишнего крена в какую-нибудь одну сторону в ущерб остальным.

В качестве примера внутренних противоречий, которые следует учитывать при решении вопроса о путях конверсии, рассмотрим следующее. Так, известно, что после закрытия практически любого ртутного производства, актуальной остается проблема оста-

точного загрязнения, разрешение которой возможно лишь путем организации работ по переработке и обезвреживанию накопившихся отходов, демеркуризации строительных конструкций и оборудования, рекультивации загрязненных территорий. При этом, если действующее производство не только вынуждено, но отчасти и экономически заинтересовано в сокращении потребления ртути за счет максимально возможной регенерации ее из отходов собственными силами, то после его закрытия весь комплекс работ по управлению РСО становится для предприятия экономически невыгодным. Последнее усугубляется еще и тем, что, согласно существующей мировой тенденции, направленной на максимальное сокращение технического оборота ртути с выводом ее на длительное, надежное и экологически безопасное хранение, законная рыночная реализация ее становится все более затруднительной и экономически невыгодной. Возникают также проблемы поиска источников финансирования работ по управлению РСО, которые все большим бременем ложатся на государственные (особенно муниципальные) организации. Более рациональным представляется активное движение по пути доведения до минимального уровня потребления ртути на действующих производствах, осуществление мероприятий по управлению РСО с целью их минимизации и предотвращения расширения ореола ртутного загрязнения, и лишь затем постепенно, по мере расширения инвестиционных возможностей, осуществлять конверсию, не ослабляя при этом внимания к поддержанию безопасного функционирования остающейся части ртутного электролиза. Особое значение имеет также разработка и реализация проектов по управлению РСО и сокращению остаточного ртутного загрязнения на производственных площадках и прилегающих к ним территориях после прекращения работы производств хлора по ртутному методу. Отметим, что эти механизмы могут быть реализованы только в результате тесного сотрудничества бизнес-сообщества, государственных и муниципальных структур [9, 10]. Кроме того, на действующих предприятиях, независимо от объемов и темпов конверсии как ртутных, так и диафрагменных производств, пристальное внимание должно уделяться вопросам сокращения энергопотребления в переходный период, прежде всего, за счет совершенствования технологии аппаратного оформления.

Одним из возможных путей конверсии может быть следующий. Так, согласно расчетам специалистов Всемирного Совета по хлору, срок окупаемости инвестиционных затрат на конверсию производства по ртутному методу (мощностью 100 тыс. т хлора в год), составляющих в среднем 50 млн. долл. США, оценивается примерно в 15 лет. Этот срок превышает границу, установленную всеми критериями инвестиционной привлекательности, обычно применяемыми в бизнесе. Исходя из этого был сделан вывод о том, что для реализации подобных проектов необходимы специальные обоснования, которые могут быть связаны либо с критической экологической ситуацией, либо с дополнительными экономическими стимулами, обусловленными, например, настоятельной необходимостью увеличения валового выпуска хлора или каустика. В последнем случае на предприятии, где одновременно действуют хлорные производства по ртутному и диафрагменному методу (а в России к таковым относятся два предприятия из действующих трех – ОАО «Каустик» в г. Волгограде и ОАО «Каустик» в г. Стерлитамаке), целесообразным представляется вариант конверсии на мембранный метод обоих производств с соответствующим пропорциональным или (при наличии дополнительной потребности в хлоре) с еще большим увеличением мощности. Такой путь расширяет возможности выбора оптимальных реше-

ний, облегчающих и удешевляющих конверсию. При этом появится возможность: а) рационально задействовать в новом производстве существующие системы выпарки и рассолоподготовки и, возможно, выпрямительных устройств; б) последовательно, без перерывов в выпуске продукции проводить конверсию, первоначально задействовав мембранный электролиз повышенной мощности в корпусе диафрагменного электролиза, и лишь затем, остановив ртутный электролиз, провести демеркуризацию, реконструкцию и, если необходимо, ликвидацию зараженных ртутью зданий, а также ремедиацию территории. Подобный вариант позволит: а) сократить до приемлемого срок окупаемости конверсионного проекта; б) достичь значительного сокращения энергопотребления; в) отказаться одновременно от использования ртути и асбеста; г) облегчить процесс демеркуризации и ремедиации зараженных ртутью территорий. Однако и в этом случае необходимо объективно оценивать экологическую и экономическую ситуацию, избегать непродуманных решений, добиваться минимизации расхода ртути и эмиссии ее в окружающую среду в течение всего оставшегося срока эксплуатации производств, работающих по ртутному методу, включая переходный период.

Следует также обратить внимание на совершенствование технологий и, прежде всего, аппаратно-технологического оформления проектов ремедиации загрязненных ртутью территорий. В частности, необходимо использовать соответствующие технологии и специальную технику, позволяющих проводить эффективную демеркуризацию и ремедиацию загрязненных ртутью конструкций и территорий [12, 19, 20]. Необходимо также внести конкретные изменения и дополнения в существующую в России нормативно-законодательную базу по управлению РСО.

Таким образом, в свете рассмотренных выше проблем и с учетом состояния хлорных производств в России наиболее разумным представляется следующее.

1. С точки зрения улучшения экологической ситуации и сокращения энергопотребления актуальной является конверсия на мембранный метод как ртутных, так и диафрагменных производств.

2. Не следует устанавливать жесткие сроки конверсии ртутных производств, предоставляя самим предприятиям решать этот вопрос (в разумные и обоснованные сроки) в соответствии с их технической и инвестиционной готовностью.

3. В случае функционирования ртутных и диафрагменных производств в пределах одного предприятия проводить их одновременную конверсию с соответствующим сохранением или увеличением общей мощности.

4. Обеспечить и поддерживать (в том числе и за счет модернизации основного оборудования на действующих производствах) технический уровень, позволяющий сократить энергопотребление и сохранить эмиссию ртути на минимально возможном уровне.

5. Обеспечивать подконтрольность и прозрачность оборота ртути, используемой в технологическом процессе.

6. Не увеличивать установленную мощность действующих производств и не вводить новые мощности с использованием ртутного метода.

7. Сократить на действующих производствах закупки ртути, вплоть до полного отказа от них, за счет уменьшения (без ущерба для технологического процесса) ее общего потребления и максимального использования внутренних резервов (регенерация вторичной

ртути из РСО, накопившихся за предыдущий период эксплуатации производств, и ее возврат в технологический процесс).

8. Обеспечивать и поддерживать надлежащее состояние полигонов захоронения РСО как на действующих, так и на остановленных производствах.

#### Литература

1. *Зимин В.М., Камарьян Г.М., Мазанко А.Ф.* Хлорные электролизеры. – М.: Химия, 1984. – 304 с.
2. *Лернер А.С., Горин В.Н., Бурдыгина С.В., Филь М.Ю., Изосенков Р.И., Эбериль В.И.* Автоматизированная система управления напряжением на хлорных электролизерах с ртутным катодом // *Химическая промышленность сегодня*, 2006, № 10, с.13–22.
3. *Мазанко А.Ф., Новиков Е.А., Эбериль В.И.* Металлооксидные аноды в хлорной промышленности. Достижения, проблемы, перспективы // *Научные труды НИИ «Синтез»*. – М., 1996, с. 48–155.
4. *Мубараков Р.Г., Коган Д.В.* Первый мембранный электролиз в России. О чем говорит опыт его внедрения и работы в «Саянскимпласте»? // *Химия и бизнес*, 2008, № 6–7, с. 8–9.
5. *Подвязный В.И.* Влияние модернизации оборудования на экологию окружающей среды и экономическую эффективность производства // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2011, № 3, с. 100–107.
6. *Эбериль В.И., Ромашин О.П.* Удельный расход ртути по статьям потерь на производствах хлора и каустика в России и пути его дальнейшего сокращения // *Химическая промышленность сегодня*, 2005, № 3, с. 22–27.
7. *Эбериль В.И., Трегер Ю.А.* Выбросы ртути с предприятий, производящих хлор и каустик в России // *Химическая промышленность сегодня*, 2005, № 1, с. 32–38.
8. *Эбериль В.И., Ягуд Б.Ю., Миронов П.Б.* Итоги работ по сокращению потребления и эмиссии ртути, проведенных на хлорных производствах России в 2005–2010 гг. // *Химическая промышленность сегодня*, 2011, № 12.
9. *Ягуд Б.Ю.* Состояние «хлорной» подотрасли в России // *The Chemical Journal*, 2004, № 10–11, с. 26–27.
10. *Ягуд Б.* Движение вперед // *Химия и бизнес*, 2008, № 6–7, с. 6–7.
11. *Ягуд Б.Ю., Эбериль В.И.* Энергопотребление в промышленном производстве хлора за рубежом, его зависимость от методов производства и вытекающие из этого вопросы выбора приоритетов в стратегии совершенствования хлорных производств // *Вестник химической промышленности*, 2011, № 1, с. 34–39.
12. *Янин Е.П.* Деконтаминация городских почв, загрязненных тяжелыми металлами (проблемы, состояние, методы) // *Ресурсосберегающие технологии*, 2002, № 20, с. 3–49.
13. *Янин Е.П.* Эмиссия ртути в окружающую среду при производстве цемента в России // *Экологическая экспертиза*, 2004, № 4, с. 31–42.
14. *Янин Е.П.* Эмиссия ртути в окружающую среду предприятиями цветной металлургии России // *Экологическая экспертиза*, 2004, № 5, с. 41–101.
15. *Янин Е.П.* Оценка эмиссии ртути в атмосферу российскими предприятиями черной металлургии // *Экологическая экспертиза*, 2004, № 5, с. 101–108.

16. Янин Е.П. Экологические аспекты производства, использования и утилизации ртутных термометров в России // Экологическая экспертиза, 2004, № 6, с. 2–36.
17. Янин Е.П. Оценка эмиссии ртути в окружающую среду при производстве кокса в России // Экологическая экспертиза, 2005, № 1, с. 2–9.
18. Янин Е.П. Эмиссия ртути в атмосферу при сжигании каменного угля в России // Ресурсосберегающие технологии, 2006, № 3, с. 3–14.
19. Янин Е.П. Опыт ремедиации загрязненной ртутью территории (город Марктревиц, Германия) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2009, № 9, с. 70–95.
20. Янин Е.П. Технологии очистки ртутьсодержащих почв и грунтов (зарубежный опыт) // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Мат-лы Междунар. симп. (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7–9 сентября 2010 г.). – М.: ГЕОХИ РАН, 2010, с. 466–471.
- 21 Assessment of Mercury Releases from the Russian Federation. Arc-tic Council Action Plan to Eliminate Pollution of the Arctic (ACAP). Prepared for the Arctic Council by: Russian Federal Service for Environmental, Technological and Atomic Supervision Danish Environmental Protection Agency. Published by: Danish Ministry of the Environment, Danish Environmental Protection Agency, Strandgade 29, DK-1401 Copenhagen // <http://www.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-539-5/pdf/87-7614-540-9.pdf>.
22. Pirrone N., Cinnirella S., Feng X. et al. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources // Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, № 10, p. 5951–5964.