

*Г. М. Рубинштейн, С. П. Яценко, В. М. Скачков,
ФГБУН «Институт химии твердого тела» УрО РАН (г. Екатеринбург, Рос-
сия)*

*В. С. Копырин,
ООО «НПП «Энергия и экология» (г. Екатеринбург, Россия)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗА ГАЛЛИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С учетом все возрастающей мировой потребности в галлии, его производство постоянно увеличивается [1]. Это обусловило необходимость развития теории и практики способов получения галлия. К числу наиболее эффективных относится производство галлия из щелочно-алюминатных растворов процесса Байера электролизом [2–7]. Совершенствованию метода уделяется большое внимание в Институте химии твердого тела Уральского отделения РАН (ИХТТ УрО РАН).

Проблема решается по следующим направлениям:

- развитие теории электрохимических процессов при электролизе галлия;
- совершенствование технологических процессов электролиза галлия с целью повышения его технико-экономических показателей;
- разработка новых конструкций электролизеров галлия с повышенной эффективностью;
- создание высокоэффективных автоматизированных полупроводниковых источников питания электролизеров галлия;
- улучшение энергетических показателей и электромагнитной совместимости электротехнологических систем электролиза галлия.

В докладе приводятся результаты разработок ИХТТ УрО РАН электролизеров галлия средней и повышенной производительности типа ГЭСП-5 и ГЭПП-6, соответственно. Электролизеры ГЭСП-5 успешно эксплуатировались более 10 лет в ООО «Галлий» (г. Каменск-Уральский Свердловской области) [2–5]. Технические характеристики указанных электролизеров приведены в таблице 1, а их конструктивное исполнение и особенности показаны на рис. 1 и рис. 2.

Таблица 1

Технические характеристики галлиевых электролизеров

Тип электролизера	Электролит			Электролизер			
	объем, м ³	концентрация, г/дм ³		время подготовки, сут.	напряжение, В	ток, кА	производи- тельность, кг/сут.
		Na ₂ O	Ga				
ГЭСП-5	1,7	200	0,27	8	3,8	9,5	0,482
ГЭПП-6	4,3	240	0,36	4	3,2	25,0	4,180

Корпус электролизера повышенной производительности разделен продольной перегородкой на две части, каждая из которых, в свою очередь разделена поперечными перегородками на восемь секций, по ширине эти секции меньше на треть по сравнению с секциями электролизера средней производительности.

В двух симметрично расположенных по ширине корпуса секциях, образующих отсек, размещен пакет электродов, разделенных по длине на половины, каждая из которых присоединена к одной медной штанге, опирающейся на токоподводящую шину соответствующей полярности.

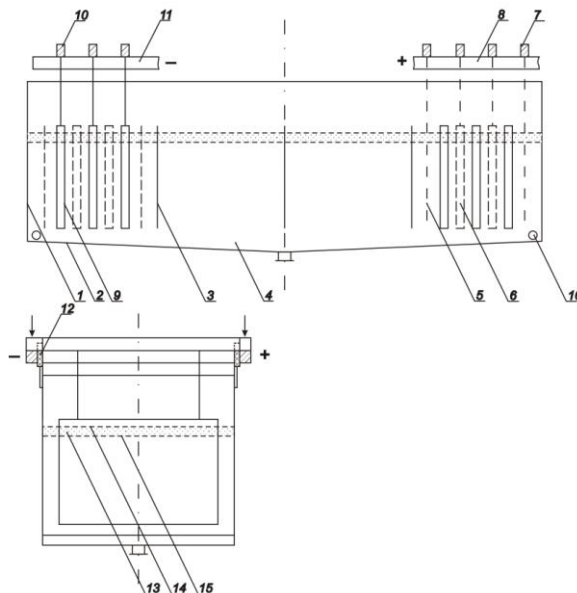
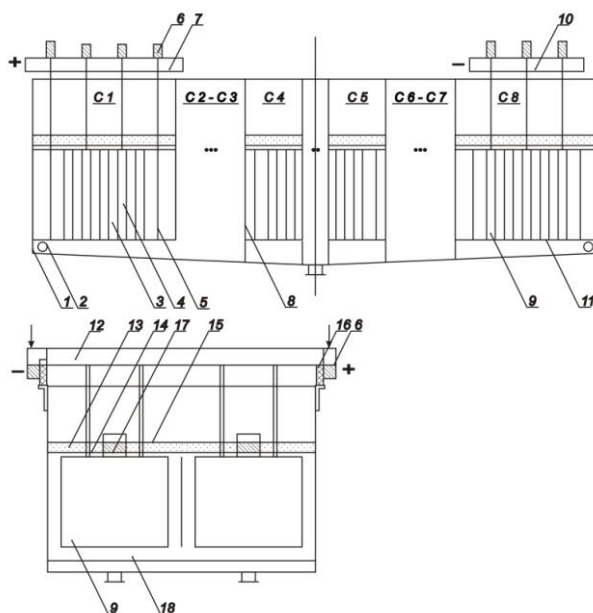


Рис. 1. Галлиевый электролизер средней производительности типа ГЭСП-5:

1 – стальной корпус с наклонным днищем; 2 – промывочные устройства; 3 – стальные перегородки; 4 – секции; 5 – пластинчатый анод; 6 – П-образный анод; 7 – анодная штанга; 8 – токоподводящая анодная шина; 9 – водоохлаждаемый катод; 10 – катодная штанга; 11 – токоподводящая катодная шина; 12 – электроизоляционная пластина; 13 – слой пены; 14 – исходный уровень электролита; 15 – уровень электролита при электролизе; 16 – про-



мывочные устройства

Рис. 2. Галлиевый электролизер повышенной производительности типа ГЭПП-6:

1 – стальной корпус с наклонным днищем; 2 – промывочные устройства; 3 – секции; 4 – П-образный анод; 5 – пластинчатый анод; 6 – анодная штанга; 7 – токоподводящая анодная шина; 8 – поперечная перегородка; 9 – водоохлаждаемый катод; 10 – токоподводящая катодная шина; 11 – продольная перегородка; 12 – катодная штанга; 13 – слой пены; 14 – уровень электролита при электролизе; 15 – исходный уровень электролита; 16 – электроизоляционная пластина; 17 – указатель уровня электролита; 18 – отсек

Принятые в ГЭПП-6 размеры секций и расположение в них электродов уменьшили в два раза, а именно со 140 до 70 мм, – расстояние, которое проходят ионы галлата и цинката из глубины электролита к катодам. Соответственно сокращается и продолжительность электролиза.

В занятом секциями пространстве находится более 80 % электролита с минимальным газонаполнением, поэтому в нем поддерживается оптимальная плотность тока $7,5 \text{ кА/м}^3$ при расчетной плотности $5,8 \text{ кА/м}^3$, что позволяет снизить потребление электроэнергии.

Другой отличительной особенностью электролизера ГЭПП-6 является использование более чистого по ряду вредных примесей электролита, причем предварительная его очистка несложная. Кроме того, в исходной смеси для приготовления электролита повышена концентрация галлия за счет увеличения доли более чистого обратного раствора.

Очистка электролита позволила увеличить извлечение галлия и снизить пенообразование, что дополнительно повышает производительность электролизера.

Указанные преимущества, а также совершенствование процесса цинкования катодов, измерение потенциала катода и другие новшества позволили увеличить количество циклов концентрирования галлия с 3,6 до 6 циклов в сутки (табл. 2), что резко повышает производительность ГЭПП-6.

На электролизере ГЭПП-6 снижена поляризационная составляющая напряжения за счет: уменьшения средней плотности тока, достигнутого увеличением в 1,5 раза поверхности анодов; снижения межэлектродного расстояния; уменьшения пенообразования, повышающего активную составляющую сопротивления электролита. В результате на 16 % (табл. 1) снизилось напряжение на ванне.

Результаты опыта эксплуатации электролизера средней производительности ГЭС-5 в ООО «Галлий», а также исследования и расчеты электролизера повышенной производительности ГЭПП-6, выполненные в ИХТТ УрО РАН [2–7], приведены в таблицах 1, 2 и 3. Данные показывают, что наилучшие технологические и энергетические показатели имеет электролизер ГЭПП-6, по существу, являющийся развитием конструкции и совершенствованием технологии электролизеров ГЭС-5, длительно и успешно эксплуатируемых. Например, производительность электролизера увеличилась в 3,4 раза, а расход электроэнергии на электролиз снизился в 7,5 раза (показатели приведены к 1 м^3 электролита).

Таблица 2

Технологические показатели электролиза галлия

Тип электролизера	Технологические показатели				
	время электролиза, час	количество циклов в сутки	извлечение Ga, %	расход электролита на 1 кг Ga, $\text{м}^3/\text{кг}$	наработка Ga на 1 м^3 электролита, кг/сут.
ГЭС-5	2,5 – 2,8	3,6	29,2	12,7	0,284
ГЭПП-6	2,0 – 2,2	6,0	45,0	6,2	0,972

Таблица 3

Энергетические показатели электролиза галлия

Тип электролизера	Энергетические показатели				
	мощность электролизера, кВт	расход			
		количества электричества на 1 кг Ga, А·ч		электроэнергии, кВт·ч	
		электролизера	на 1 м^3 электролита	электролизера	на 1 м^3 электролита

ГЭС-5	36	197,0	116,0	749	440,0
ГЭПП-6	80	78,5	18,3	251	58,4

Для уточнения энергетических показателей необходимо учесть потери электроэнергии в преобразовательных агрегатах. Для этого требуется определить оптимальное количество электролизеров $N_{Э}$, соединенных последовательно в одну цепь, и количество цепей $N_{Ц}$ электролиза в одном производстве. Исходным показателем для обоснования $N_{Э}$ и $N_{Ц}$ является производительность $G_{Г}$ галлиевого производства.

Например, для выпуска 10 т галлия в год технико-экономически целесообразно использовать электролизеры повышенной производительности ГЭПП-6. Для удобства их эксплуатации, рациональной организации, технологического и производственного процессов, создания оптимальной системы электроснабжения постоянным током и обеспечения высокой энергетической безопасности предприятия целесообразно следующее:

- использование 10 электролизеров типа ГЭПП-6;
- подключение электролизеров последовательно по пять штук в цепь для образования двух цепей электролиза галлия;
- обеспечить питание каждой цепи электролизеров галлия от индивидуального преобразовательного агрегата постоянного тока;
- предусмотреть третий, резервный преобразовательный агрегат для системы электроснабжения электролизного производства галлия;
- создать номинальные выходные электрические параметры преобразовательного агрегата: выпрямленное напряжение – 20 В, выпрямленный ток – 30 кА.

Постоянно расширяющаяся область применения галлия и возрастающие потребности в нем делают актуальной задачей организацию производств по получению галлия на глиноземных заводах. Для ее решения целесообразно использовать рассмотренные конструкции электролизеров и предложенные технологии электролиза галлия.

Список использованных источников

1. БИКИ. На рынке галлия. 2013. № 42. С. 15.
2. Рубинштейн Г. М., Яценко С. П., Скачков В. М., Копырин В. С., Бобков А. В. Энергоэффективные технологии электролиза галлия из растворов глиноземного производства и электрооборудование. // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: ст. докл. 3-й междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург: УрФУ, 2013.) С. 110–114.
3. Рубинштейн Г. М., Пасечник Л. А., Яценко С. П., Пягай И. Н. Извлечение галлия из щелочных растворов глиноземного производства // Цветные металлы. – 2014. – № 3. С. 37–43.
4. Школьников Р. М., Шаблаков В. С., Садовников В. Б., Кузнецов А. В., Рубинштейн Г. М., Яценко С. П. / Полезная модель 14214 (РФ). Электролизер получения галлия. Бюл. № 19. – 2000.
5. Шаблаков В. С., Кузнецов А. В., Лисин В. Р., Садовников В. Б., Бобков А. В., Бобков В. А., Яценко С. П., Рубинштейн Г. М., Копырин В. С. Модернизация оборудования для электролиза галлия // Промышленная энергетика. – 1999. – № 9.
6. Рубинштейн Г. М., Яценко С. П., Сабирзянов Н. А. / Полезная модель 106248 (РФ). Электролизер для извлечения галлия из щелочно-алюминатных растворов процесса Байера. Бюл. № 19. – 2011.
7. Рубинштейн Г. М., Яценко С. П., Скачков В. М. / Полезная модель 147934 (РФ). Электролизер для извлечения галлия из щелочно-алюминатных растворов процесса Байера. Бюл. № 45. – 2014.