



Научная статья

УДК 66.021.1:54.051

DOI: 10.52957/27821900_2022_03_65

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫПАРИВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

В. К. Леонтьев, О. Н. Кораблева, Е. А. Гирба

Валерий Константинович Леонтьев, канд. техн. наук, доцент, **Ольга Николаевна Кораблева**, канд. хим. наук, доцент, **Евгений Анатольевич Гирба**, канд. техн. наук, доцент, Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия, leontievvk@ystu.ru, korablevaon@yandex.ru, girbaea@ystu.ru

Ключевые слова:
геотермальные воды, комплексная переработка, выпарной аппарат, интенсификация процесса

Аннотация. Представлена принципиальная блок-схема предприятия по переработке геотермальных вод. Разработаны новые конструкции выпарных аппаратов, используемых для концентрирования геотермальных вод. Интенсификация теплообмена осуществляется за счет удаления кристаллов в гидроциклоне и пульсации потока в трубном пространстве подогревателя.

Для цитирования:

Леонтьев В.К., Кораблева О.Н., Гирба Е.А. Применение выпаривания в процессе переработки геотермальных вод // От химии к технологии шаг за шагом. 2022. Т. 3, вып. 3. С. 65-69. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2022tom3no3>

Введение

В настоящее время подземные геотермальные воды добываются и используются для различных целей:

- В качестве горячих теплоносителей для обогрева зданий и сооружений. Использование геотермальных вод для отопления и горячего водоснабжения позволяет избежать от загрязнения атмосферы дымовыми газами. С экономической точки зрения использование тепла геотермальных вод конкурентоспособно с некоторыми традиционными видами топлива: мазут, каменный уголь и др.

- Получение полезных компонентов, которые могут использоваться в медицинской, химической и пищевой промышленности.

- Экономия природной воды питьевого качества за счет вторичного использования геотермальных вод.

Рентабельность использования геотермальных вод зависит от многих факторов: производительности добываемых вод, их температуры, глубины скважин, способов утилизации отработанных вод, концентрации полезных компонентов, технологии извлечения этих веществ из геотермальных вод.



Большая роль принадлежит выбору процессов и методов извлечения химических соединений из гидротермального теплоносителя различных месторождений. Вопросам эксплуатации геотермальных месторождений с учетом проблем утилизации отработанных геотермальных растворов и возможностью улучшения состояния окружающей среды посвящены работы [1-3].

Основная часть

В последние годы уделяется повышенное внимание природным минерализованным водам как перспективному источнику многих ценных химических продуктов [4]. Задача использования минерализованных геотермальных вод, добываемых в России, приобретает большое значение в связи не только с возможностью значительного уменьшения объемов сбрасываемых на поверхность пластовых вод, что способствует улучшению состояния окружающей среды, но и для переработки минерального сырья, более углубленному и комплексному использованию минерально-сырьевых ресурсов [2].

По предоставленным данным по составу пластовых вод скважины Медягинской можно сделать вывод о высоком содержании в них ценных химических элементов. Химические соединения: хлориды калия, магния, натрия, кальция, магния; бромид калия и йодид калия; реактивный бром и йод; соединения лития являются перспективными для получения важнейших продуктов промышленного производства. Массовые доли этих веществ достаточно высоки, поэтому актуальность промышленной переработки геотермальных вод не вызывает сомнения. В таблице 1 представлен состав геотермальных вод скважины Медягинская.

Таблица 1. Состав геотермальных вод скважины Медягинская

№	Состав геотермальных вод	Содержание, кг/м	
		Старооскольский водоносный горизонт 1224-1399 м	Средне-верхнекембрийский ВК, 2158-2190 м
1	Хлорид натрия, NaCl	186,3	196,4
2	Хлорид магния, MgCl ₂	14,6	16,1
3	Хлорид кальция, CaCl ₂	36,63	52,25
4	Хлорид калия, KCl	0,764	1,34
5	Хлорид лития, LiCl	0,037	0,059
6	Хлорид рубидия, RbCl	0,00082	0,0013
7	Хлорид цезия, CsCl	0,00012	<0,0006
8	Хлорид стронция, SrCl ₂	0,58	0,95
9	Сульфат кальция, CaSO ₄	1,49	0,51
10	Бромид калия, KBr	0,99	1,35
11	Йодид калия, KI	0,0056	0,0038
12	Кремниевая кислота, H ₂ SiO ₄	0,005	0,03
13	Бикарбонат кальция, Ca(HCO ₃) ₂	0,083	0,105
14	Железо, Fe ²⁺ /Fe ³⁺	0,048/0,007	0,128/ -
15	Борная кислота, HBO ₂	0,032	0,038



На основании разработанной сотрудниками ОАО «НПЦ «НЕДРА» технологической схемы по переработке минерально-сырьевых ресурсов [1] нами предложена блок-схема этого предприятия [5], которая представлена на рис. 1.

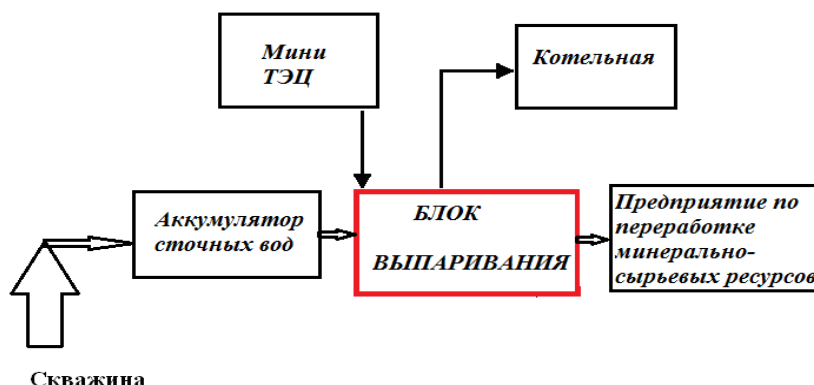


Рис. 1. Принципиальная блок-схема предприятия по переработке геотермальных вод

Представленная схема по переработке геотермальных вод рассчитана на производительность 5 м³/ч, поэтому использование их в таком количестве практически не оказывает влияния на запасы месторождения и сроки их применения. Разработанная схема не предусматривает вредные стоки и выбросы в атмосферу.

Одним из основных этапов переработки геотермальных вод является концентрирование солевых многокомпонентных растворов до перенасыщения основного компонента, например хлористого натрия, с последующим извлечением из концентрированного рассола других минеральных компонентов. Процесс выпаривания проводят в выпарных аппаратах специальной конструкции для кристаллизующихся растворов, поскольку высокое содержание минеральных солей в геотермальных водах приводит к образованию кристаллического осадка (выпадению кристаллов хлорида натрия, кальция и др. элементов) на внутренней поверхности трубок подогревателя. Это приводит к быстрому зарастанию и забивке трубок теплообменника кристаллизующейся солью, что, в свою очередь, снижает эффективность выпаривания. В результате аппарат приходится промывать, а промывную воду упаривать, затрачивая на это дополнительную энергию.

В результате работы по комплексной переработке геотермальных вод нами была разработана конструкция выпарного аппарата для кристаллизующихся растворов [6, 7]. Схема выпарного аппарата представлена на рис. 2.

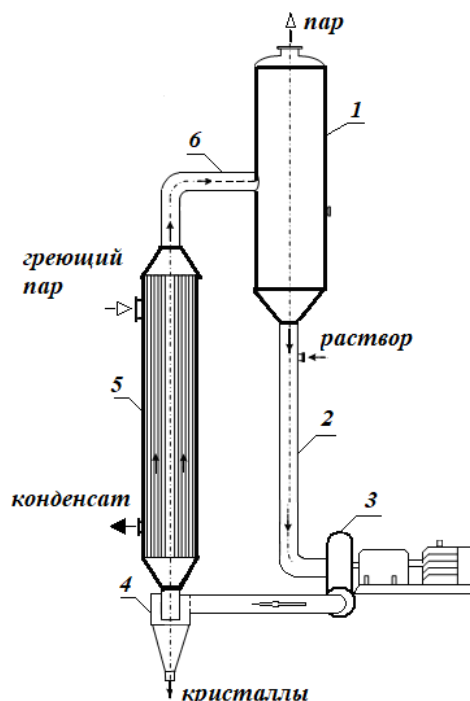


Рис. 2. Выпарной аппарат для кристаллизующихся растворов: 1 – сепаратор; 2 – циркуляционная труба; 3 – насос; 4 – гидроциклон; 5 – кипяtilьные трубы подогревателя выпарного аппарата; 6 – труба вскипания



Выпарной аппарат работает следующим образом. Поступающий раствор (геотермальные воды) подается в циркуляционную трубу при температуре 65 °С. Затем раствор насосом 3 подается через гидроциклон 4 в кипяtilьные трубы 5, где кипит за счет обогрева греющим паром, поступающим из мини ТЭЦ. Парожидкостная смесь поступает в трубу вскипания 6 и затем в сепаратор, где происходит отделение вторичного пара от жидкости и образовавшихся кристаллов. При прохождении циркулирующего раствора через гидроциклон за счет действия центробежной силы частицы твердой фазы отбрасываются к стенке аппарата и нисходящим спиральным потоком перемещаются в нижнюю конусную часть гидроциклона к разгрузочному отверстию. За счет отделения кристаллов от циркулирующего раствора в предложенном выпарном аппарате для кристаллизующихся растворов в значительной степени снижается зарастание и забивка трубок кристаллизующейся солью. Вследствие этого возрастает и длительное время сохраняется интенсивность работы выпарного аппарата и его производительность, увеличивается межпромывочный период и эксплуатационная надежность [8].

Для интенсификации процесса теплообменных и массообменных процессов широко используются такие технические приемы, как пульсация потока, обтекание шероховатой стенки, использование насадки и т.д. [9]. Для интенсификации процесса выпаривания большой интерес представляют пульсационные устройства. В современной технике для сообщения потока жидкости пульсаций используют различные пульсационные устройства, действие которых приводит к повышению турбулизации и диспергированию потока, что способствует значительному увеличению коэффициента теплоотдачи [5, 6]. Широкое применение пульсаторов обусловлено простотой конструкции аппарата и высокой удельной производительностью, кроме того, периодические пульсации потока не вызывают заметного увеличения гидравлического сопротивления. Для повышения эффективности процесса выпаривания нами была предложена новая конструкция выпарного аппарата с пульсационным движением раствора по трубам подогревателя (рис. 3) [10].

Принцип действия представленного выпарного аналогичен принципу действия выпарного аппарата для кристаллизующихся растворов. Но дополнительно к нижней части греющей камеры присоединено пульсирующее устройство мембранного типа. Для создания пульсации раствора в кипяtilьных трубках используется гибкая мембрана 7, которая приводится в возвратно-поступательное движение с помощью пульсатора – поршневого насоса. Амплитуда колебаний составляет 10–25 мм.

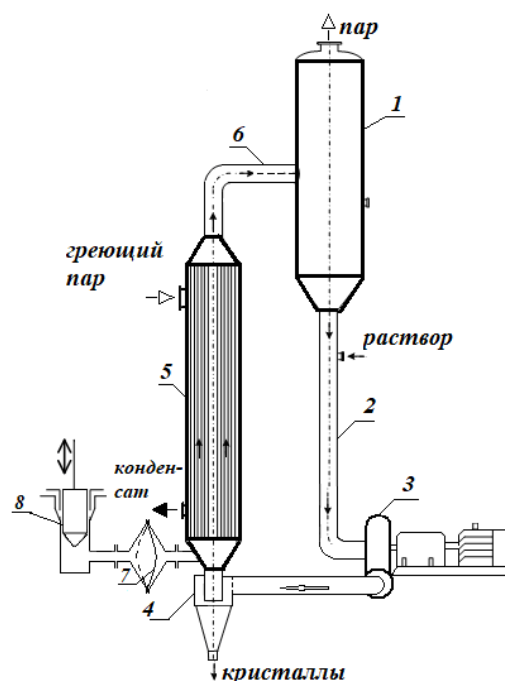


Рис. 3. Схема выпарного аппарата с пульсационным движением раствора по трубам: 1 – сепаратор; 2 – циркуляционная труба; 3 – насос; 4 – гидроциклон; 5 – кипяtilьные трубы подогревателя выпарного аппарата; 6 – труба вскипания; 7 – гибкая мембрана, 8 – поршневой насос



Таким образом, в предлагаемом выпарном аппарате с пульсирующим устройством мембранного типа для кристаллизующихся растворов за счет увеличения турбулизации потока в значительной степени снижается зарастание и забивка трубок кристаллизующейся солью. Вследствие чего повышаются и длительное время сохраняются интенсивность работы выпарного аппарата и его производительность, увеличивается межпромысловый период и эксплуатационная надежность аппарата.

Для сравнения оценки эффективности предложенных конструкций выпарных аппаратов использовали известные зависимости для определения коэффициента теплоотдачи при пульсации потока в кипятильных трубах. Расчеты показали, что коэффициент теплоотдачи в выпарном аппарате с пульсацией потока выше коэффициента теплоотдачи в гладкой трубе кипятильника выпарного аппарата больше на 20–40%.

Выводы

Процесс выпаривания является одним из важнейших в процессе переработки геотермальных вод. Для проведения этого процесса разработаны конструкции высокоэффективных выпарных аппаратов. При одинаковом гидравлическом сопротивлении теплоотдача в выпарных аппаратах предложенных конструкций на 20–40% больше по сравнению с традиционными выпарными аппаратами.

Список источников

1. Оценка прогнозных ресурсов теплоэнергетических и промышленных подземных вод Центрального и Северо-Западного федеральных округов РФ с целью их комплексного использования: отчет о результатах работ по объекту / Росгеолфонд; отв. исполнитель Е.П. Кудрявцев. М., 2012. Инв. № 515405.
2. Горбач В.А. Проблемы утилизации отработанных геотермальных растворов // *Георесурсы*. 2014. № 3(58). С. 44-48. DOI <http://dx.doi.org/10.18599/grs.58.3.9>.
3. Коган Б.И. Редкие металлы. Состояние и перспективы. М.: Наука, 1976. С. 356.
4. Леонтьев В.К., Кораблева О.Н., Бурцева В.М. Технологические процессы получения различных видов продукции из геотермальных вод // *Полифункциональные химические материалы и технологии: материалы Международной научной конференции 21-22 мая 2015 г.* Томск: Издат. дом ТГУ, 2015. Т. 2. С. 75-78.
5. Леонтьев В.К., Кораблева О.Н., Барзыкина Д.А. Применение процесса выпаривания для концентрирования геотермальных вод // *Инновационно-технологическое развитие науки: сборник статей Международной научно-практической конференции 5 апреля 2017 г., Волгоград. В 3 ч. Ч. 3.* Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С. 29.
6. Патент № 161443 РФ Выпарной аппарат для кристаллизующихся растворов / Бурцева В.М., Леонтьев В.К., Кораблева О.Н. Опубл. 20.04.2016. Бюл. № 11.
7. Leont'ev V.K., Korableva O.N., Soboleva L.M. Crystallizing Evaporator // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2019. Vol. 54(9-10). P. 708-710. DOI: 10.1007/s10556-019-00537-5. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-019-00537-5>
8. Леонтьев В.К., Кораблева О.Н. Интенсификация процесса выпаривания // *Вестник ТГТУ*. 2020. Т. 26, № 1. С. 85-90. DOI: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.085-090.
9. Леонтьев В.К., Кораблева О.Н., Гирба Е.А. Использование газожидкостных аппаратов в промышленности // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2021. Т. 2, вып. 2. С. 76-80. DOI: 10.52957/27821900_2021_02_76. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2021-2-2>
10. Патент № 169693 РФ. Выпарной аппарат / Леонтьев В.К., Гирба Е.А., Кораблева О.Н., Барзыкина Д.А. Опубл. 28.03.2017. Бюл. № 10.

Поступила в редакцию 07.09.2022

Одобрена после рецензирования 19.09.2022

Принята к опубликованию 19.09.2022