

7. Николин В.И., Лысыков Б.А., Ярембаш И.Ф. Выбросоопасные породы больших глубин / МакНИИ. – Донецк: Донбасс, 1968. – 80 с.: ил.
8. Литвин А.З., Поляков Н.М. Проходка стволов шахт специальными способами. – М.: Недра, 1974. – 324 с.: ил.
9. Концерн Herrenknecht: сайт. – Текст электронный. – URL: <http://www.herrenknecht.com>. (Дата обращения 12.09.2021).
10. Загвоздкин И.В., Чагинов А.В., Кузичкин А.Н., Кисиличин С.А. Механизированный способ проходки вертикальных шахтных стволов на месторождениях калийных солей // Безопасность труда в промышленности. – 2013.– № 8. – С. 40–41.

УДК 622.7

DOI:10.7242/echo.2021.3.18

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДООХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ВОД СИЛЬВИНИТОВОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Д.В. Ольховский, А.В. Зайцев, А.В. Шалимов, С.А. Бублик
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе описаны проблемы охлаждения оборотных засоленных вод, характерные для сильвинитовых обогатительных фабрик калийных предприятий. Представлены краткие результаты обследования системы охлаждения оборотных засоленных вод сильвинитовой обогатительной фабрики 4-го рудоуправления. Сделаны выводы о возможности и способах доохлаждения оборотных засоленных вод. Описаны принципиальные схемы доохлаждения оборотных засоленных вод, приведены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: сильвинитовая обогатительная фабрика, системы охлаждения, вентиляторная градирня, холодильная машина, оборотные засоленные воды.

Введение

На сегодняшний день существует множество предприятий калийной промышленности, которые строились еще при СССР. За прошедшее время потребность мировых рынков в хлористом калии существенно выросла, и для удовлетворения их потребностей предприятия нарастили количество и мощность горнодобывающей техники, однако увеличить производительность наземного комплекса – горно-обогатительной фабрики – не так просто в силу множества причин, основной из которых является необходимость остановки работы всего рудника на время строительства или модернизации линий обогатительной фабрики и большие капитальные затраты. Помимо модернизации и строительства линий фабрики, возможно увеличение их производительности за счет снижения температуры оборотных засоленных вод (ОЗВ) в летний период, поступающих на вакуум кристаллизационные установки для конденсации паров щелока. Температура ОЗВ регулируются с помощью системы охлаждения, которая представляет из себя комплекс из 4-х блоков по 6 вентиляторных мокрых градирен башенного типа [1-3]. Охлаждение воды с помощью градирен является наименее энергозатратным способом из ныне существующих, однако имеет недостаток в виде практически прямой зависимости минимально достижимой температуры воды от температуры мокрого термометра воздуха, подаваемого для охлаждения. В летний период в результате роста температуры и температуры мокрого термометра уличного воздуха минимальная температура, до которой существующие градирни способны охлаждать ОЗВ, растет и начинает превышать требуемую температуру в 18,5°C, достигая значения в 26°C в наиболее жаркие и влажные дни. В результате превышения температуры снижается производительность линий (см. таблицу 1), что приводит к экономическим потерям предприятия.

Таблица 1

Производительность линий в зависимости от температуры ОЗВ

Технологическая линия	Температура оборотной засоленной воды		
	$T_{\text{воды}} = 18,5^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{воды}} = 20^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{воды}} = 26^{\circ}\text{C}$
Технологическая линия «А»	180 т/ч	175 т/ч	167 т/ч
Технологическая линия «Б»	180 т/ч	175 т/ч	167 т/ч
Технологическая линия «В»	185 т/ч	180 т/ч	172 т/ч

По данным мониторинга производительности линий, по причине превышения температуры ОЗВ за летний период 2020 года на линиях А и Б потери от недопроизводства составили 41 730 тонн. В результате у предприятия возникла необходимость в проведении оценки текущей эффективности и возможности модернизации систем охлаждения ОЗВ.

Проведение исследования системы охлаждения ОЗВ

Вентиляторные градирни башенного типа служат для охлаждения воды путем ее частичного испарения в атмосферу. Минимально теоретическая температура, до которой возможно охладить воду на градирнях, равна температуре мокрого термометра атмосферного воздуха. Для интенсификации процесса испарения площадь поверхности водяной пленки увеличивают с помощью оросителей, которые представляют из себя ребристые полимерные пластины, собранные в блоки (см. рисунок 2). Между пластинами образуется множество каналов, расположенных под небольшим отклонением от вертикали, в которые подается вода с помощью разбрызгивателей. Вода самотеком стекает по стенкам каналов и охлаждается за счет двигающегося навстречу атмосферного воздуха, движение которого обеспечивается с помощью осевого вентилятора (см. рисунок 1). Воздух, проходя через каналы оросителя, нагревается и увлажняется, тем самым отводя тепло от нагретой воды. После прохождения каналов оросителя вода попадает в резервуар-накопитель, откуда поступает на технологические линии фабрики.

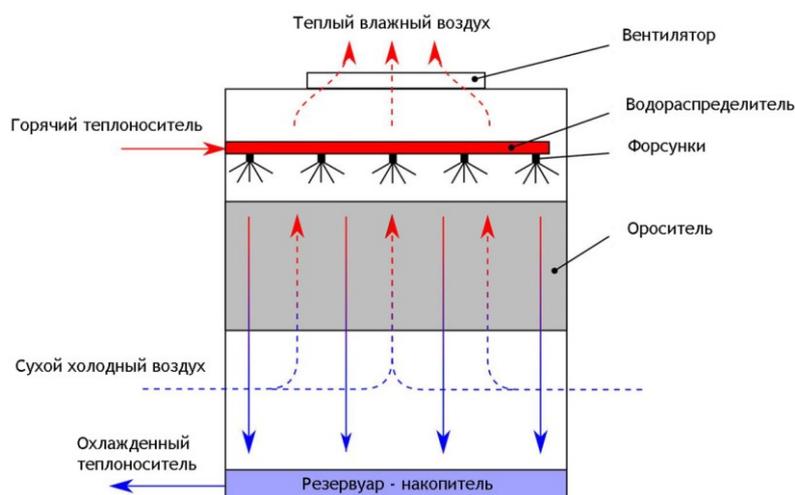


Рис. 1. Принципиальная схема вентиляторной градирни башенного типа



Рис. 2. Оросители градирен
(слева – вид на ороситель сбоку, справа вид на ороситель сверху)

Для оценки эффективности работы градирен необходимо определить, насколько температура охлажденной воды выше температуры мокрого термометра. Считается, что с помощью градирен возможно охлаждать воду на 3°C выше температуры мокрого термометра. В случае, если температура охлажденной ОЗВ превышает температуру мокрого термометра более чем на 3°C , есть определенный резерв усовершенствования системы охлаждения ОЗВ именно этим способом, который является наименее энергопотребляющим [4-5].

Для определения температуры ОЗВ были проведены замеры в резервуарах-накопителях каждой градирни и в баке холодной воды, куда стекает охлажденная ОЗВ со всех градирен, путем ввода датчика температуры в поток жидкости. Для определения температуры мокрого термометра на производственной площадке были проведены замеры атмосферного давления, температуры воздуха и относительной влажности против направления движения ветра от места расположения блока градирен, чтобы исключить влияние выбросов градирен на показания температуры и относительной влажности воздуха. Результаты замеров приведены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2

Основные параметры работы градирни

Температура атмосферы	28,5 $^{\circ}\text{C}$
Относительная влажность атмосферы	34%
Температура мокрого термометра	17,6 $^{\circ}\text{C}$
Температура горячей воды	38,4 $^{\circ}\text{C}$
Температура воды в камере холодной воды (средняя температура со всех градирен)	24,5 $^{\circ}\text{C}$
Атмосферное давление	757 мм. рт. ст.

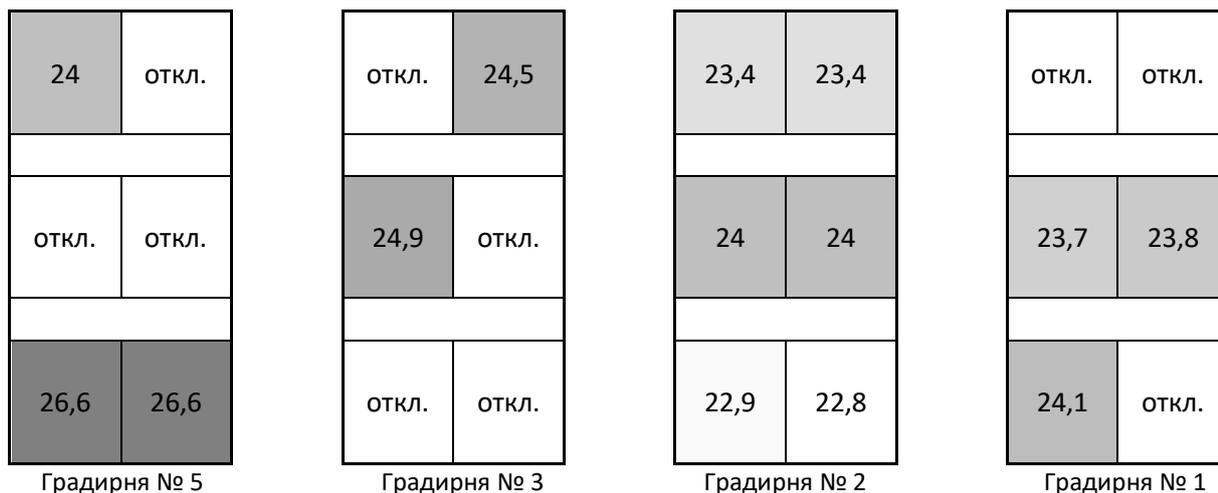


Рис. 3. Схема расположения градирен с нанесенной температурой воды в поддонах градирен по данным замеров, °С

На момент проведения замеров работало 14 градирен из 24-х, остальные находились на обслуживании или были отключены, при этом работало 2 линии фабрики из 3-х. Как видно из рисунка 3, замеренная температура воды существенно отличалась от градирни к градирне. Это может быть вызвано следующими причинами:

- близкое расположение градирен, что приводит к негативному влиянию друг на друга;
- различные объемы подачи воды на градирни;
- различная давность очистки оросителей градирен;
- различные типы оросителей (было определено, что в процессе эксплуатации на некоторые градирни были установлены оросители другого производителя);
- различные расходы воздуха (было определено, что в процессе эксплуатации электродвигатели рабочих колес и сами рабочие колеса заменялись на аналогичные других производителей, возможности произвести замеры расхода воздуха при работающей градирне не было).

Во время проведения исследования точные причины расхождения температур установить не удалось, предполагается, что имеет место одновременное влияние всех указанных факторов, в результате чего прямой зависимости от какого-либо одного фактора не установлено. Поэтому при дальнейшем анализе было принято решение ориентироваться на среднюю температуру воды со всех градирен. Замер средней температуры производился в баке, в который охлажденная вода поступает со всех градирен.

Согласно полученным данным, средняя температура воды превышала температуру мокрого термометра на 5,9°С, что означает наличие теоретической возможности улучшения охлаждающей способности данным способом, однако снижение температуры ОЗВ на 2,9°С не решит проблему полностью, а только позволит увеличить количество дней, в которых температура ОЗВ будет находиться в допустимых значениях. Согласно данным, представленным заказчиком, максимально наблюдаемая температура охлажденной ОЗВ составляла 26,4°С. Учитывая тот факт, что разница между температурой мокрого термометра и температурой охлажденной воды практически не меняется от температуры воздуха, в наиболее жаркие дни при использовании даже новых градирен для охлаждения необходимо доохлаждать воду с температурой 23,5°С. Ввиду отсутствия вблизи производственной площадки альтернативных источников холода (например подземные воды или исходящая холодная струя

воздуха из шахты) в достаточном количестве, одним из возможных решений стало применение холодильных машин. Существует вероятность, что новые градирни не смогут стабильно обеспечивать расчетные параметры по причинам, описанным выше. Поэтому было предложено две основных схемы доохлаждения воды: только с холодильной машиной и комбинированная двухступенчатая схема с поэтапным охлаждением воды сначала на новых градирнях, а затем с доохлаждением на холодильной машине.

К преимуществам доохлаждения воды только с помощью холодильной машины можно отнести:

- более простая, а следовательно надежная и менее сложная в обслуживании гидравлическая схема;
- гарантированная холодопроизводительность при любых условиях эксплуатации;
- простота регулировки.

Основным же недостатком будут являться большие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с комбинированной схемой, вызванные необходимостью установки холодильных машин большей мощности и потребления большего количества электроэнергии.

Выбор холодильной машины

Существуют два основных типа холодильных машин: абсорбционные (АБХМ) и парокомпрессионные (ПКХМ) [6]. Энергетическая эффективность АБХМ и ПКХМ характеризуется коэффициентом энергоэффективности EER (Energy Efficiency Ratio), который показывает, какое количество холода производит холодильная машина при затрачивании единицы того или иного типа энергии. Коэффициент EER у ПКХМ в зависимости от различных условий находится в диапазоне от 3 до 9, у АБХМ же – в диапазоне от 0,65 до 1,52, однако есть существенное отличие в принципе работы данных холодильных машин. ПКХМ для своей работы нуждаются в электрической энергии, а АБХМ в тепловой. Обычно АБХМ применяют в тех местах, где есть большие запасы дешевой высокопотенциальной тепловой энергии, например вблизи геотермальных источников. Однако в результате расчета благодаря высокому EER у ПКХМ (для данных условий он составил ~ 8,76) и высокой стоимости газа (679 бел. рублей за 1000 м³), стоимость часа работы АБХМ составила 1691 бел. рубль, против 1135 бел. рублей у ПКХМ. Поэтому было принято решение отказаться от применения АБХМ.

Для работы холодильной машины также необходимо отводить тепло от конденсатора. Для решения этой задачи применяются воздушные конденсаторы и мокрые градирни. Воздушный конденсатор представляет из себя теплообменник с воздушным охлаждением, в котором атмосферным воздухом охлаждается хладагент. Применение же мокрых градирен требует установки промежуточного теплообменника, в котором хладагент будет охлаждаться водой, охлаждаемой на градирнях. Мокрые градирни позволяют охлаждать воду до температур ниже температур атмосферного воздуха, что в свою очередь уменьшает температуру хладагента и увеличивает EER ПКХМ по сравнению с воздушными конденсаторами, однако применение мокрых градирен требуют наличие источника чистой воды. Требуемая суммарная холодопроизводительность системы доохлаждения составила 37 МВт, в результате наличия достаточного объема воды на производственной площадке и необходимости обеспечить минимальное энергопотребление было принято решение о применении мокрых градирен для отвода тепла от холодильной машины.

Для увеличения энергоэффективности работы системы доохлаждения и проверки надежности работы мокрых градирен была предложена третья схема, в которой ОЗВ способны доохлаждаться на градирнях холодильных машин. Данная схема позволит при небольшом превышении требуемой температуры ОЗВ не запускать дорогие в эксплуатации холодильные машины, а доохлаждать воду на их мокрых градирнях. В случае, если температура мокрого термометра продолжит расти, ОЗВ начинают подаваться на холодильные машины, а градирни переключаются на охлаждение конденсаторов. По причине поэтапного запуска системы доохлаждения для линий фабрики данный вариант позволит определить сильные и слабые стороны схем, предложенных ранее, отработав их на 1-й линии производства. В случае успешного опыта эксплуатации новых градирен становится возможно переключить установленные дополнительные холодильные машины на другие линии и создать надежную, энергетически и экономически эффективную систему доохлаждения ОЗВ с минимальными капитальными затратами при поэтапном строительстве системы доохлаждения для 3-х линий фабрики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А. Устройство и расчет промышленных градирен / Каз. гос. энергет. ун-т. – Казань, 2004. – 179 с.: ил.
2. Гладков В.А., Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. Вентиляторные градирни. – М.: Стройиздат, 1976. – 216 с.: ил.
3. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. – 2-е изд., перераб. – М.: Госэнергоиздат, 1957. – 320 с.: ил.
4. Пономаренко В.С. Арефьев Ю.И., Казилин Е.Н. Опыт модернизации вентиляторной градирни // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – № 3. – С.
5. Пономаренко В.С. Повышение эффективности систем оборотного водоснабжения на базе градирен типа «Росинка» // Мясная индустрия. – 1996. – № 7. – С.
6. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.

УДК 622.831.322

DOI:10.7242/echo.2021.3.19

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ ПОРОД ПО СВОБОДНЫМ ГАЗАМ НА ВВОДИМЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ УЧАСТКОВ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ПАО «УРАЛКАЛИЙ»

А.С. Папулов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. В работе представлены результаты исследования газоносности соляных пород по свободным газам на вводимых в эксплуатацию участках шахтных полей ПАО «Уралкалий». В ходе шахтных экспериментальных исследований по существующей методике выполнялись замеры объема свободных газов, выделившихся из загерметизированных шпуров, и начального давления газов в загерметизированной части шпура, установившегося за 30 сек. Отбирались пробы выделившихся свободных газов. Химический анализ состава свободных газов проводился на газовых хроматографах. Полученные ре-