

Бондарев Виталий Викторович

магистрант

Ильин Роман Альбертович

канд. техн. наук, заведующий кафедрой
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
г. Астрахань, Астраханская область

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АККУМУЛЯЦИИ ХОЛОДА НА АСТРАХАНСКОЙ ПГУ-110

***Аннотация:** работа посвящена проблеме снижения мощности газотурбинной установки и паровой турбины из-за повышения температуры в летний период. Рассмотрен один из способов аккумуляции холода, который позволит решить широкий спектр задач по увеличению располагаемой электрической и тепловой мощности, а также обеспечению более надежной работы стационарного оборудования.*

***Ключевые слова:** абсорбционная бромисто-литиевая холодильная машина, термодинамическая эффективность, аккумуляция холода.*

В 2015 году на Астраханской ПГУ-110 была успешно внедрена в производственный цикл абсорбционная бромисто-литиевая холодильная машина (АБХМ), которая позволила значительно повысить термодинамическую эффективность работы компрессоров ГТУ, и, как следствие, повысить мощность станции в летний период. Но, несмотря на это, в самые жаркие дневные часы лета нагрузка на ГТУ все же немного снижается, так как производительность холодильной машины ограничена.

Максимальная нагрузка для ГТУ достигается при температуре на всасе в компрессор равной 9°C. Из анализа показателей мощности станции получается, что в пиковые летние часы, АБХМ обеспечивает эту температуру в районе 18–21°C. АБХМ, установленная на ПГУ-110, рассчитана на холодопроизводительность в

3,8 МВт. Однако в ночное время станция, как правило, по графику работы разгружается на технологический минимум, и АБХМ при этом полностью отключается. Таким образом, оборудование находится в «вынужденном простое».

Возможным выходом из данной ситуации может послужить разработка системы аккумуляции холода для АБХМ. Аккумуляция будет производиться в часы минимума генерации, а в дневные пиковые часы, запасенный холод будет направляться в производственный цикл. В работе рассмотрены основные способы к аккумуляции холода.

Все способы можно разделить на 2 большие группы: аккумулирование холода в естественных (природных) средах и аккумулирование в искусственных установках.

Проанализировав все методы аккумуляции холода, были выбраны такие, которые являются наиболее эффективными, проверенными и возможными в Астраханском регионе, именно на ПГУ-110. К ним относятся: аккумуляция в грунте с использованием тепловых труб и аккумулирование холода с использованием капсул-накопителей.

В первом способе аккумулятор представляет собой совокупность тепловых труб, заглублённых в грунт вокруг объекта – потребителя холода и аккумулирующего вещества. Более наглядно схема представлена на рис. 1.

Существенным недостатком данного метода являются очень высокие капитальные затраты на его реализацию.

Вторым способом аккумуляции является использование капсул-накопителей. Этот способ состоит в том, что лед в аккумуляторе холода не имеет непосредственного контакта с охлаждающей жидкостью, а образуется в полиэтиленовых капсулах-накопителях. Аккумулятор холода представляет собой полиэтиленовый теплоизолированный резервуар-капсулу диаметром 5–10 см, заполненную жидкостью.

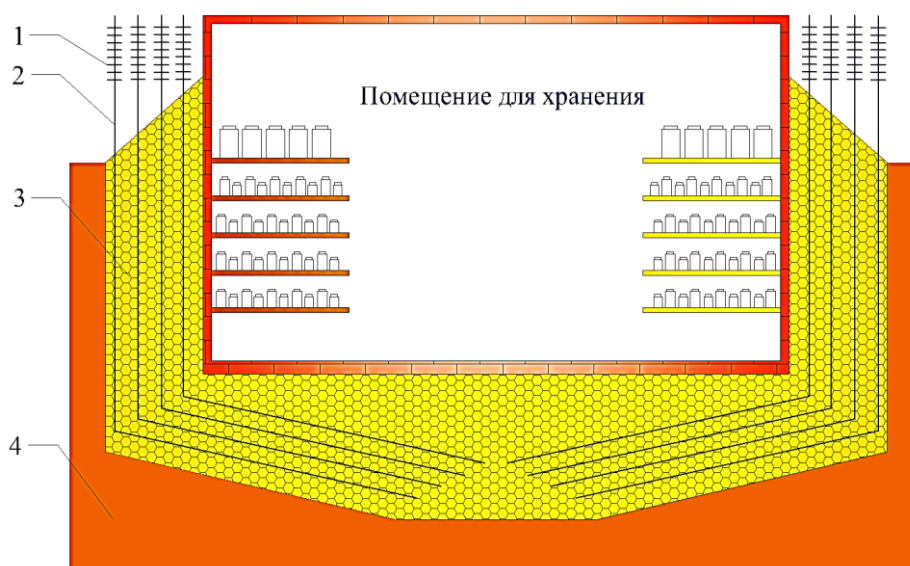


Рис. 1. Схема использования тепловых труб при аккумуляции холода:

1 – радиаторы тепловых труб; 2 – тепловые трубы;

3 – теплоаккумулирующий материал; 4 – грунт

Состав жидкости зависит от необходимой температуры кристаллизации.

Конструкция капсулы представлена на рис. 2.

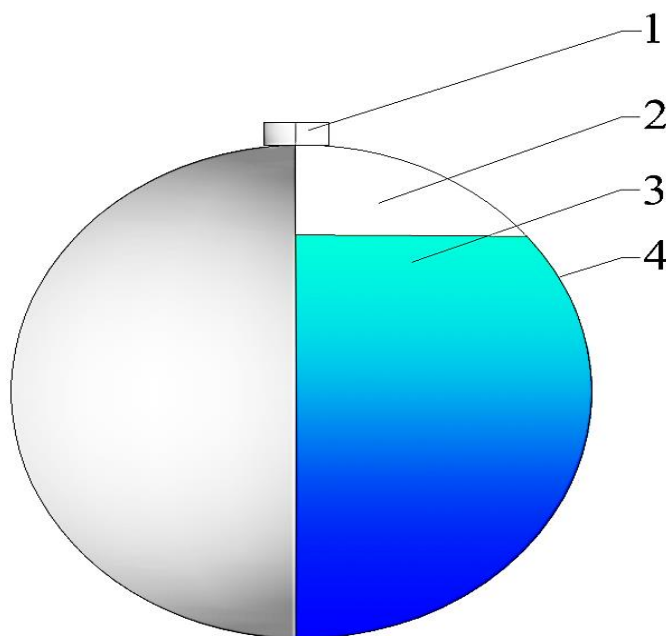


Рис. 2. Конструкция капсул-накопителей: 1 – пробка, 2 – воздух,

3 – материал-наполнитель, 4 – оболочка из полиэтилена

Капсулы помещаются в резервуар, в котором циркулирует жидкий теплоноситель (вода, водный раствор этиленгликоля). В период зарядки аккумулятора

теплоноситель вызывает кристаллизацию жидкости внутри капсул. Тем самым достигается аккумуляция энергии в виде скрытой теплоты кристаллизации в период фазового перехода из жидкого состояния в твердое. Шарообразная форма капсул обеспечивает большую площадь теплообмена.

В период разрядки аккумулятора происходит обратный процесс: в бак подается горячий теплоноситель, теплоту которого принимают на себя капсулы [1].

Взвесив все плюсы и минусы двух данных методов, было предложено использовать для ПГУ-110 аккумуляцию холода с помощью капсул-накопителей, произведённых французской фирмой CRISTORIA.

Для расчета и оценки перспективности реализации данного проекта были произведены анализы режимов работы станций в периоды разгрузок и показателей работы ПГУ-110. На основании анализа данных получили, что средний показатель продолжительности часов минимума генерации равен 5, а за час работы системы аккумуляции холода АБХМ мы можем дополнительно увеличить мощность станции на 6,3МВт, как показано на рис. 3.

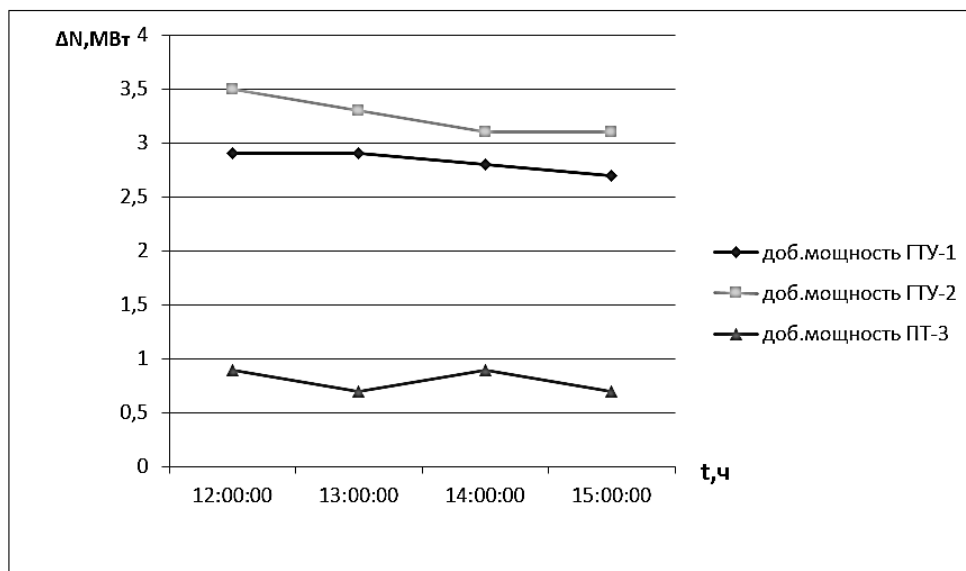


Рис. 3. Прирост мощности станции в летний период

Рассчитаем объем бака-аккумулятора:

$$Q = cm\Delta T \rightarrow m = Q/(c\Delta T) \quad (1)$$

$$V = m/\rho \quad (2)$$

где Q – количество холода, вырабатываемого холодильной машиной в нерабочее время суток, МВт*ч; ΔT – перепад температур (фазовый переход), К; c – теплоёмкость тосола, кДж/ кг * К; ρ – плотность тосола, кг/м³.

$$1 \text{ Вт*ч} = 3600 \text{ Дж}$$

$$\Delta T = 5,5 + 273 = 278,5 \text{ К}$$

$$c = 2,999 \text{ кДж/ кг * К}$$

$$m = 25 * 3600 * 10^6 / (2999 * 278,5) = 107756 \text{ кг}$$

$$V = 107756 / 1089 = 98,9 \text{ м}^3.$$

Принимает объём бака – 100 м³. Исходя из таблицы 1, объём охлаждаемой жидкости $V_{\text{охл.ж.}}$ будет равен 38,8 м³.

Таблица 1

Технические характеристики баков-аккумуляторов

Объем, м ³	Наружный диаметр, мм	Общая длина, мм	Занимаемая площадь, м ²	Масса РН 4,5 баг, кг	Объем охлаждаемой жидкости, м ³
2	950	2980	2,83	660	0,77
5	1250	4280	5,35	1050	1,94
10	1600	5240	8,38	1890	3,88
15	1900	5610	10,66	2540	5,82
20	1900	7400	14,06	3200	7,77
30	2200	8285	18,23	4580	11,64
50	2500	10640	26,6	6860	19,40
70	3000	10425	31,28	8400	27,16
100	3000	14770	44,31	11700	38,80

При расчете капсул-наполнителей диаметр капсул, используемых для холодильных установок, равен 77 мм.

Рассчитаем объём одной капсулы:

$$V_k = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (3)$$

$$V_k = \frac{4}{3} * 3,14 * (38,5 * 10^{-3})^3 = 238920 * 10^{-9} \text{ м}^3 \quad (4)$$

$n = V_{\text{охл.ж.}} / V_k$ – количество капсул в баке

$$n = 38,8 / (238920 * 10^{-9}) = 162397 \text{ штук.}$$

Таким образом, были определены основные параметры оборудования, которое будет использоваться для осуществления проекта: бак-аккумулятор на 100 м^3 , капсулы-накопители 162397 штук.

Проведем расчёт экономических затрат на реализацию проекта (в ценах за 2015 г.):

- стоимость бака-аккумулятора – 150000 руб.;
- стоимость змеевика – 150000 руб.;
- монтаж бака – 300000 руб.;
- стоимость капсул-накопителей – 500000 руб.;
- стоимость тосола (100 м^3) – 3000000 руб.;
- стоимость электрических задвижек – $200000 \times 4 \text{ шт.} = 800000 \text{ руб.}$;
- стоимость опор (от 5 тонн и более) – 100000 руб.;
- монтаж опор – 100000 руб.;
- монтаж трубопровода – 500000 руб.;
- стоимость трубопровода – 1000000 руб.;
- вся стоимость проекта – 6600000 руб.

Расчет срока окупаемости произведен с учетом климатических особенностей г. Астрахани за период с мая по сентябрь включительно.

Таким образом:

Суммарный прирост мощности станции $\Delta N = 31,5 \text{ МВт} \times 152 = 4788 \text{ МВ}$.

С учетом среднерыночной стоимости одного МВт на уровне 1300 рублей, получаем $\Delta \$ = 4788 \times 1300 = 6224400 \text{ руб.}$

Таким образом, прогнозируемый срок окупаемости проекта по внедрению системы аккумуляции холода для АБХМ ПГУ-110 составит $6600000 / 6224400 = 1,06$ года. Установка капсул-наполнителей имеет смысл, как с теоретической точки зрения, так и с практической. Новое оборудование снизит температуру на всасе в компрессор, что обеспечит максимальную нагрузку для ГТУ при работе системы SPRINT.

Список литературы

1. Головчун С.Н. Решение проблемы обледенения градирен Астраханской ПГУ-110 / С.Н. Головчун, Р.А. Ильин // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: Материалы междунар. конф. с элементами научной школы. – Тамбов: Изд-во НП А.В. Чеснокова, 2014. – С. 157–158.
2. Холодильные машины: Учебник для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур» / А.В. Бараненко, Н.Н. Бухарин, В.И. Печкарев, Л.С. Тимофеевский; под общ. ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 1997. – 992 с.
3. Бондарь Е.С. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха с аккумуляцией холода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://npodhod.ru/home/27-accumulyaciyaholoda.html.ru>