

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Марахова.Е.А., Угланов Д.А., Урлапкин В.В., Корнеев С.С., Гаев Е.С.

Самарский университет, г. Самара, eamarakhova@gmail.com <mailto:ivanov@mail.ru>

*Ключевые слова:* циклы ожижения, криогенный аккумулятор, системы аккумулирования энергии.

Следование тенденциям развития энергетической системы означает, что возобновляемая энергия используется как вид источника энергии в распределенной энергетической системе, и она представляется наиболее перспективной энергетической системой будущего. Однако, как только возобновляемая энергия внедряется в промышленные системы, наиболее важным моментом должна стать стабильность и устойчивость энергоснабжения из-за прерывистости возобновляемых источников энергии. Поэтому необходимо внедрять технологии хранения энергии для сглаживания колебания спроса и предложения и гарантировать поставки в периоды дефицита энергии. Существует множество типов технологий хранения энергии для различных применений в различных масштабах. Среди крупномасштабных технологий хранения энергии в последние годы значительное внимание привлекают криогенные системы аккумулирования энергии (использующая в качестве рабочего тела сжиженный воздух) благодаря ряду преимуществ, включая удобство хранения, высокую плотность энергии, отсутствие географических ограничений, высоко конкурентные капитальные, эксплуатационные и ремонтные затраты, длительный срок службы и экологичность.

Криогенная система аккумулирования энергии, как и любой другой накопитель электрической энергии имеет три рабочих режима. Зарядка электроэнергии. В этом режиме происходит очищение, сжатие и ожижение воздуха посредством использования электрической энергии в период «провала» нагрузки. Хранение. В этом режиме сжиженный воздух хранится в криогенном резервуаре при температуре  $-196^{\circ}\text{C}$  и давлении 0,1...0,6 МПа. Использование запасенной энергии. В этом режиме энергия восстанавливается за счет подачи в регазификатор и расширения воздуха для получения электричества в моменты пикового потребления электроэнергии.

Оптимальным циклом зарядки криогенного аккумулятора будет цикл Гейландта, так как удельные затраты в этом цикле минимальные, по сравнению с остальными [1].

На рисунке 2 представлена зависимость почасовых значений суммарного профиля потребления. Рассматриваемые промежутки времени: 00:00 – 07:00 и 20:00 – 00:00. Дефицит генерируемой энергии в промежутке с 08:00 – 19:00.

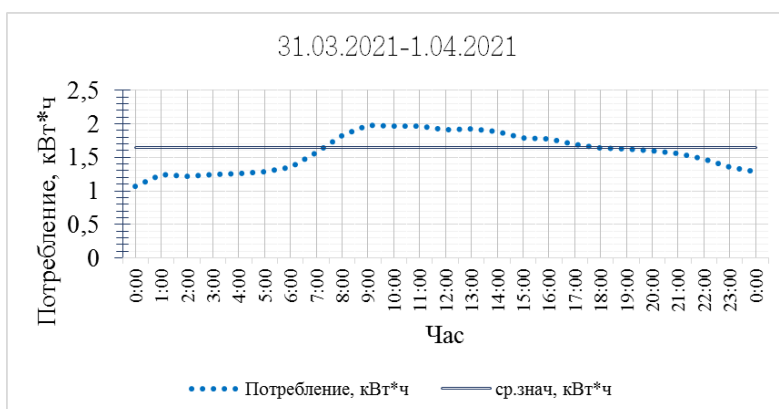


Рисунок 1 – Зависимость почасовых значений суммарного профиля потребления

В ходе анализа существующих систем хранения и транспортировки криогенных жидкостей – были выбраны криогенные резервуары следующих производителей: ПАО ОМЗ «КРИОГЕНМАШ» и ОАО «НПО «ГЕЛИЙМАШ». Характеристики криогенных резервуаров

представлены в табл. 1. Для хранения сжиженного воздуха подойдут ёмкости РКВ 50/1,6 и БСХ 63/0,6.

Для регазификации сжиженного воздуха используется цикл Ренкина с хладагентом в качестве рабочего тела. Цикл был использован только для подбора оптимального рабочего тела (хладагента). Для этого была написана программа расчета обычного цикла Ренкина на языке Python версии 3.8. В программе было проитерирован расчет цикла Ренкина для нескольких веществ. Оптимальным рабочим телом для выбранного цикла является Этан. Значение мощности соответствует 153,3 кВт.

Таблица 1 – Характеристики криогенных резервуаров

Наименование	РКВ 50/1,6	БСХ 63/0,6	БСХ 100/0,6
Вместимость, м3	53,5	66,3	112
Рабочее давление, МПа	1,6	0,6	0,6
Необходимое количество	4	3	2
Процент заполнения	93%	95%	84%

Результаты работы получены с использованием оборудования центра коллективного пользования «МЕЖКАФЕДРАЛЬНЫЙ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР САМ-ТЕХНОЛОГИЙ» при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № 0777-2020-0019).

### Список литературы

1 Марахова, Е.А. Выбор оптимального цикла ожижения воздуха для криогенного аккумулятора энергии. Текст: электронный / Е.А. Марахова, Е.В. Благин, Д.А. Угланов // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: материалы докл.: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. 23-25 июня 2021 г.: Т. 2. С. 221-222.

### Сведения об авторах

Марахова Елизавета Андреевна, аспирант кафедры ТиТД, инженер НОЦ ГДИ-209. Область научных интересов: разработка математических моделей процессов гидродинамики и теплообмена в криогенных установках, исследование нестационарных процессов теплообмена в аппаратах микрокриогенных газовых машин.

Угланов Дмитрий Александрович, доцент кафедры ТиТД, ведущий научный сотрудник НОЦ ГДИ-209. Область научных интересов: энергетика, системы охлаждения ГТД холодильная и криогенная техника.

Урлапкин Виктор Викторович, ассистент кафедры ТиТД, младший научный сотрудник НОЦ ГДИ-209. Область научных интересов: рабочий процесс ДВС.

Корнеев Сергей Сергеевич, ассистент кафедры ТиТД, младший научный сотрудник НОЦ ГДИ-209. Область научных интересов: рабочий процесс ДВС.

Гаев Евгений Сергеевич, аспирант кафедры ТиТД, инженер НОЦ ГДИ-209. Область научных интересов: энергетика, системы охлаждения ГТД холодильная и криогенная техника.

## SELECTING THE OPTIMAL OPERATING MODE FOR A CRYOGENIC ENERGY STORAGE SYSTEM

Marakhova E.A., Uglanov D.A., Urlapkin V.V., Korneev S.S., Gaev E.S.  
Samara University, Samara, Russia, ivanov@mail.ru

*Keywords: liquefaction cycles, cryogenic accumulator, energy storage systems.*

The article investigates the comparison between cryogenic tanks, calculates characteristics of optimal discharging process.