

УДК 621.565:621.59

**М.Б. Кравченко**, канд. техн. наук

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082

e-mail: [kravtchenko@i.ua](mailto:kravtchenko@i.ua)ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9310-2166>

## ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С АККУМУЛИРОВАНИЕМ ЖИДКИХ КРИОПРОДУКТОВ

*В качестве промежуточного энергоносителя при криогенном аккумулировании энергии обычно используются жидкие продукты разделения воздуха. Аккумулирование жидких криогенных продуктов разделения воздуха является одним из перспективных направлений в гармонизации их производства и снижения потребления электроэнергии. В качестве промежуточного энергоносителя в криогенных аккумуляторах энергии используются жидкие продукты его разделения. Рассмотрена возможность работы воздуходелительной установки (ВРУ) с целью получения газообразного кислорода в трёх режимах с разным потреблением электроэнергии, имеющей различную стоимость. Разница в уровнях потребления энергии связана с накоплением или использованием энергии в виде криогенных жидкостей: жидкого кислорода и кубовой жидкости. Показано, что при трёхдиапазонном тарифе на электроэнергию за счёт накопления энергии в период низкой её стоимости и использования накопленной энергии при высокой стоимости расходы на электроэнергию, потребляемую ВРУ, могут быть уменьшены на 25 %.*

**Ключевые слова:** Жидкий кислород, Кубовая жидкость. Аккумулирование энергии, Воздухоразделительная установка.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Криогенное аккумулирование энергии является одним из перспективных направлений в разработке промышленных технологий для согласования производства и потребления электроэнергии. В качестве промежуточного энергоносителя в криогенных аккумуляторах энергии используется жидкий воздух или продукты его разделения. Известно, что жидкий воздух аккумулирует большое количество энергии. Например, один литр жидкого воздуха содержит энергию, которой достаточно для подъема тонны воды на высоту до 60 м.

По плотности аккумулирования энергии жидкий воздух сопоставим с никель-кадмиевыми аккумуляторами электроэнергии, однако, в отличие от них, производство и использование жидкого воздуха не связано с загрязнением окружающей среды.

Очевидными преимуществами жидкого воздуха и продуктов его разделения в качестве промежуточного энергоносителя являются абсолютная доступность и экологическая безопасность. Если к этому добавить то, что в настоящее время уже находятся в эксплуатации десятки криогенных резервуаров, предназначенных для длительного хранения 100000 и более кубических метров криогенных жидкостей (сжиженного природного газа), то напрашивается вопрос: «Почему же жидкий воздух до сих пор не нашел применения в энергетике в качестве промежуточного энергоносителя?».

Это объясняется чрезвычайно низкой эффективностью современного оборудования для получения жидких продуктов разделения воздуха. Например, минимальная работа ожижения азота составляет примерно 0,2 кВтч/кг. Типичное значение работы, затрачиваемой на получение одного килограмма жидкого азота на современных воздуходелительных установках, составляет порядка 1 кВтч/кг. Следовательно, уже в процессе производства жидкого азота теряется около 80 % подведенной энергии. Если к этому добавить потери энергии при выработке электроэнергии из жидкого азота, то ожидаемая эффективность хранения энергии в виде жидкого азота не будет превышать 10 %. Очевидно, что аккумулирование энергии со столь низкой эффективностью абсолютно неприемлемо.

Ключевая идея, позволившая рассматривать вопрос об аккумулировании энергии в виде жидкого азота, была запатентована в 2005 г. в Великобритании, в университете Лидса. Суть этого предложения сводится к тому, что энергия накапливается не только в виде жидкого азота, но и на более высоком температурном уровне. Это позволяет уменьшить термодинамические потери при газификации жидкого азота за счёт того, что тепло для этого процесса отбирается не из окружающей среды, а из твердотельного аккумулятора холода. Холод, накопленный в процессе газификации жидкого азота, используется в дальнейшем для существенного повышения эффективности процесса его ожижения.