9. *Берела, А. И.* Оптимизационные аспекты проектирования технологического процесса демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока атомной станции / А. И. Берела, Б. К. Былкин, В. А. Шапошников // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 6. – С. 9-14.
10. *Берела, А. И.* Возможности логистики в обеспечении эффективности и радиационной безопасности производственного процесса вывода из эксплуатации блоков атомных станций / А. И. Берела, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 2(31). – С. 68-75.
11. *Берела, А. И.* Производственная логистика демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков атомных станций / А. И. Берела, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 3(32). – С. 66-73.

Development of Logistics in the Project of Decommissioning of a NPP Unit

A.I. Berela[1], S.A. Tomilin[2], A.G. Fedotov[3]

VETI NRNU MEPhI, Lenin street, 73/94. Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
[1]e-mail: AIBerela@mephi.ru
[2]e-mail: SATomilin@mephi ru
[3]e-mail: AGFedotov@mephi ru

Abstract – The direction of improvement of NPP units decommissioning projects by using logistic procedures in it is considered.

Keywords: decommissioning, NPP unit, logistic procedure.

УДК 620.92:621.311.25

КРИОГЕННЫЙ АККУМУЛИРУЮЩИЙ КЛАСТЕР ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С АЭС

Ю.А. Бондарчук, А.Н. Игнатенко, Е.С. Рукина, А. А. Лапкис, В. Ю. Королев

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Современная энергетика требует от АЭС участвовать в регулировании нагрузки и частоты в энергосистеме, зачастую ценой снижения их эффективности и выручки. В качестве решения проблемы сглаживания колебаний нагрузки АЭС предлагается криогенная аккумулирующая установка, которая при наличии избытка мощности запасает энергию в форме сжиженного азота. При дефиците мощности рабочее тело расширяется в газовой турбине, вырабатывая дополнительно электричество для покрытия небольших колебаний в нагрузке станции. Маломощная установка может способствовать маневрированию АЭС при первичном регулировании частоты в сети. А установка большой мощности актуальна для совместной работы с АЭС в суточном графике нагрузки, но при решении проблемы хранения нескольких тысяч кубометров сжиженного газа. Отработавший азот может быть использован для собственных нужд АЭС. В данной работе разработана схема установки, представлено описание использованных технологий, методов и оборудования, использованных в проекте, проанализирован рынок накопителей энергии.

Ключевые слова: криогенное аккумулирование, накопители энергии.

На данный момент существует устоявшийся график нагрузки энергосистемы, определяющийся режимом потребителей. Реальный график нагрузки системы приведен на рисунке 1 [1].

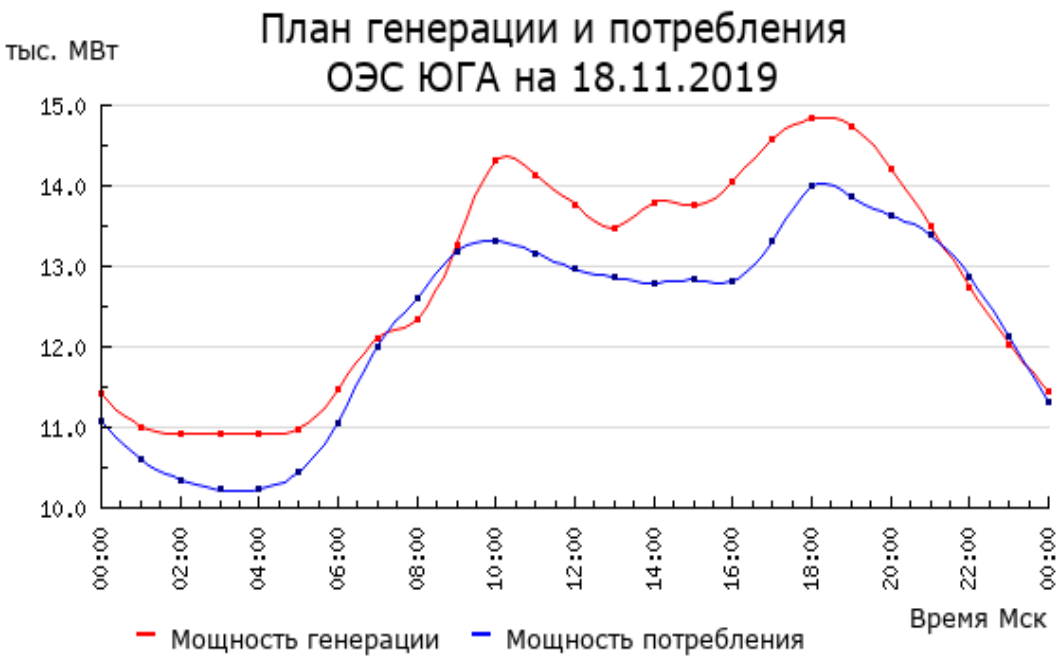

Рисунок 1 – План генерации и потребления ОЭС Юга

График носит неравномерный характер: два максимума – утренний и вечерний и два провала – дневной и ночной, в летнее время утренний максимум ниже вечернего, а в зимнее – наоборот. Конфигурация графика нагрузки имеет большое значение для режима электростанций. Для регулирования мощности возникает необходимость в систематическом подключении-отключении агрегатов или в изменении их нагрузки. Появляются пусковые расходы, расходы на неустановившийся режим, растет загрузка оперативного персонала.

Также известно, что все производители электроэнергии объединены в единую энергосистему, что обязует атомные электростанции наряду с другими производителями электроэнергии участвовать в регулировании частоты с учетом их технологических особенностей. Данные процессы неразрывно связаны с изменением мощности на работающем блоке АЭС, что нежелательно.

Решением может являться использование криогенного накопителя энергии. Установка большой мощности может быть использована для совместной работы с АЭС в режиме маневрирования для компенсации пиковых нагрузок электроэнергии, а также колебаний электроэнергии в летнее время на АЭС при решении проблемы хранения большого объема сжиженного газа. Установка малой мощности решает проблему отклонения мощности при режиме общего первичного регулирования частоты в энергосистеме.

Предлагается установить дополнительно еще одну турбогенераторную установку мощностью 30 МВт из расчета на компенсацию колебаний мощности ±2% от $N_{ном}$ на один блок АЭС, которая сможет выдавать заданную мощность в течение 15 минут. Рабочим телом в данной турбине будет являться газ, который предварительно будет ожижен холодильной установкой, после чего отправлен на хранение в теплоизолированный резервуар расчетным объемом 20 м^3. Для газификации рабочего тела используется теплообменное оборудование. Нагреть сжиженный газ можно либо паром, отбираемым с отборов ПНД или с отборов конденсатора турбины энергоблока, либо с помощью атмосферных испарителей. Технологическая схема установки представлена на рисунке 2.

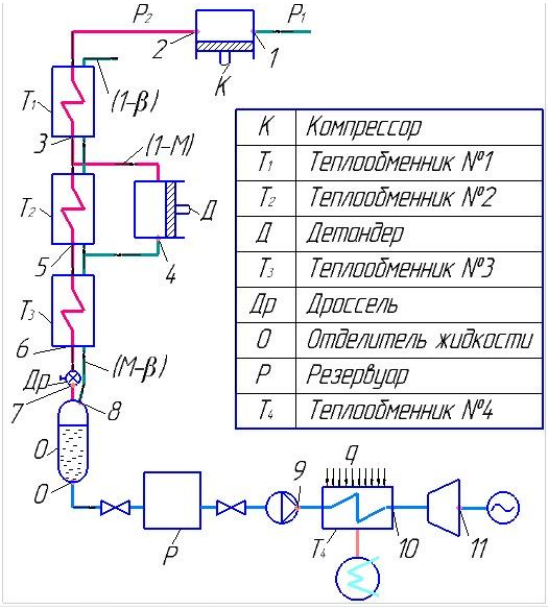

Рисунок 2 – Технологическая схема установки

Описание процесса: в период ночного провала нагрузки, газ ожижается холодильной установкой до сжиженного состояния, в котором он хранится в емкости. При включении режима ОПРЧ блок продолжает работать в регламентном режиме, для компенсации изменения мощности при колебаниях частоты подключается криогенная установка: газ подается в теплообменник, где, нагреваясь, расширяется и движется по трубопроводу на дополнительную турбину малой мощности. Газ вращает лопасти турбины, отдавая часть своей энергии. Отработавший газ частично выбрасывается в атмосферу, другая его часть расходуется на нужды АЭС.

Использование жидкого воздуха было впервые предложено в Университете Ньюкасла и протестировано компанией Mitsubishi Industries Ltd примерно в 1998 году. В начале 2000-х годов исследователи из Университета Лидса совместно с компанией Highview Power Storage продолжили разработку технологии и предложили ключевые особенности LAES. Накопление энергии жидкого воздуха (LAES) – это новая технология для хранения энергии в сетевом масштабе в виде жидкого воздуха с потенциалом преодоления недостатков накопителей накачанного и сжатого воздуха. Постепенно были представлены различные усовершенствования LAES, и пилотная установка мощностью 350 кВт / 2,5 МВтч, которая сейчас находится в Бирмингемском университете, была построена, чтобы продемонстрировать осуществимость предложенного проекта. В 2018 г. была представлена автономная установка LAES мощностью 100 МВт/300 МВтч [3].

Реализация этого проекта позволит решить вопрос маневренности не только АЭС, но и других электростанций, являясь станцией-спутником, способной накапливать энергию, что является актуальной проблемой современной энергетики. Установка также выступает источником чистого азота и обладает хладопроизводительностью, что в целом повысит КПД электростанции.

Так как пики энергопотребления имеют тенденцию к росту, то в скором времени возникнет проблема нехватки резервных мощностей для их покрытия. Криогенный накопитель энергии может выступать в качестве самостоятельной электростанции, собственные нужды которой будут покрывать небольшие установки на возобновляемых источниках энергии.

Мощность установки имеет достаточно широкий диапазон и ограничивается вместимостью резервуаров для хранения криогенной жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс]. – URL : https://www.so-ups.ru/index.php?id=ees_gen_consump_hour&no_cache=1.
2. *Ануров, С. А.* Криогенные технологии разделения газов : монография / С. А. Ануров. – Москва : ООО «АР-Консалт», 2017. – 233 с.
3. *Sciacovellia, A.* Liquid air energy storage (LAES) with packed bed cold thermal storage – From component to system 1 level performance through dynamic modelling / Sciacovellia A., Vecchia A., Dinga Y. // Applied Energy. 15.03.2017. Vol. 190. pp. 84-98. doi:10.1016/ j.apenergy.2016.12.118.

Cryogenic Storage Cluster for Joint Work with Nuclear Power Plants

Yu.A. Bondarchuk, A.N. Ignatenko, E.S. Rukina, A.A. Lapkis[1], V.Yu. Korolev

VETI NRNU MEPhI, Lenin street, 73/94. Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
[1]e-mail: AALapkis@mephi.ru

Abstract – Modern energy requires nuclear power plants to participate in regulating the load and frequency in the power system, often at the cost of reducing their efficiency and revenue. As a solution to the problem of smoothing load fluctuations at nuclear power plants, a cryogenic storage unit is proposed, which, in the presence of an excess of power, stores energy in the form of liquefied nitrogen. With a power shortage, the working fluid expands in the gas turbine, generating additional electricity to cover small fluctuations in the station load. A low-power plant can facilitate NPP maneuvering during the primary regulation of the frequency in the network. A high-capacity unit is relevant for joint work with a nuclear power plant in a daily load schedule, but when solving the problem of storing several thousand cubic meters of liquefied gas. Spent nitrogen can be used for own needs of the NPP. In this work, a diagram of the installation is developed, a description of the technologies, methods and equipment used in the project is presented, the market of energy storage devices is analyzed.

Keywords: cryogenic storage, energy storage.

УДК 621.039.5-78:621.182.4

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОБЛОКА И ИСКЛЮЧЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ПУТЕМ ОЧИСТКИ И ЗАЩИТЫ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

М.Н. Галанова, Е.Р. Бартель, Н.В. Богуш

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция»,
Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе произведены теплотехнические расчёты по загрязнению теплообменников и по потерям электрической мощности, соответственно им рассчитаны экономические убытки, определены основные размеры водоструйного инжектора, проведены гидравлические расчёты по продувочным трубопроводам пруда-охладителя, построены зависимости по изменению температурных напоров теплообменников по времени, и наконец, составлен сравнительный анализ между существующими и предлагаемыми методами очистки от карбонатных отложений.

Ключевые слова: карбонатные отложения, теплообменная поверхность, недовыработка, инжектор, система шарикоочистки, система газоохлаждения турбогенератора, ультразвуковая очистка, намагничивание воды, жертвенный материал, атомная электростанция.