

# Оценка целесообразности замены мазутного хозяйства резервного топлива ТЭС на хозяйство СПГ на примере Первомайской ТЭЦ-14 ПАО «ТГК-1»

Д. А. Трещёв<sup>1</sup>, В. В. Гаврилов<sup>2</sup>, У. Д. С. Гунасекара<sup>3</sup>

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup>tretshev\_da@spbstu.ru, <sup>2</sup>tortoise2907@gmail.com, <sup>3</sup>uthumgunasekara@gmail.com

**Аннотация.** Одним из обязательных элементов технологических схем тепловых электростанций, работающих на природном газе, является хозяйство резервного топлива. Традиционным в РФ резервным видом топлива является топочный мазут марки М-100. Фактически, резервное топливо на этих электростанциях согласно отчетным данным, практически не используется. В силу физико-химических свойств мазута, на поддержание хозяйства резервного топлива в резерве тратятся энергоресурсы, что увеличивает себестоимость производимой на ТЭЦ электрической и тепловой энергии. В настоящей работе исследуется возможность повышения эффективности электростанций, использующих мазут и дизельное топливо в качестве резервного топлива, путем перевода на хранение сжиженного природного газа. Показано, что при совместном использовании в хозяйстве резервного топлива мазута и дизеля, зона меньших эксплуатационных затрат при переводе на СПГ будет достигнута при любом годовом расходе резервного топлива, а при использовании на электростанции только мазута, зона меньших эксплуатационных затрат при переходе на использование СПГ будет при годовом расходе резервного топлива не более чем 7000 т.у.т./год.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ, резервное топливо, экономическая эффективность

## I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из обязательных элементов технологических схем тепловых электростанций, работающих на природном газе, является хозяйство резервного топлива. Традиционным в РФ резервным видом топлива является топочный мазут марки М-100. Например, для ТЭЦ ПАО «ТГК-1» данное топливо установлено резервным для всех электростанций г. Санкт-Петербурга. Фактически, резервное топливо на этих электростанциях согласно отчетным данным, мало используется [1]. При этом, в силу физико-химических свойств мазута, на поддержание хозяйства резервного топлива (далее, РТ) в резерве тратятся энергоресурсы (пар, электроэнергия), что увеличивает себестоимость производимой на ТЭЦ электрической и тепловой энергии [2]. В качестве решений данной проблемы возможен перевод электростанций на РТ, не требующего значительных энергоресурсов на свое содержание. Возможным решением могло бы стать хранение дизельного топлива [3]. Однако, дизельное топливо довольно дорогое в эксплуатации, требует больших затрат на первоначальное заполнение, использование обогрева топливопроводов и более дорогих двухтопливных газотурбинных установок (ГТУ) в современных

парогазовых электростанциях. Одним из перспективных видов РТ на ТЭС может быть также сжиженный природный газ (СПГ). В разные годы авторами отмечалась возможность перевода ТЭЦ с использования мазута на альтернативное топливо (например, [4–9]). На сегодняшний день в России имеется широкая база и предпосылки для использования СПГ в хозяйстве страны. Использование СПГ вместо мазута в качестве РТ на тепловых электростанциях имеет не только экологические, но и экономические преимущества перед дизельным топливом и мазутом в случае отгрузки СПГ стороннему потребителю [10]. Вышесказанное подчеркивает актуальность данной проблемы. Для оценки целесообразности замены существующего хозяйства РТ на хозяйство СПГ необходима технико-экономическая оценка эффективности решений. В связи с конъюнктурными особенностями стоимости энергоресурсов, а также индивидуальными особенностями экономического функционирования электростанций, для каждого энергообъекта требуется индивидуальное обоснование.

В настоящей работе исследуется возможность повышения эффективности электростанций, использующих мазут и дизельное топливо в качестве РТ, путем перевода на хранение сжиженного природного газа.

Объектом исследования была выбрана Первомайская ТЭЦ-14 ПАО «ТГК-1». Данная ТЭЦ имеет энергетические паровые и водогрейные котлы, имеющие в качестве РТ мазут, а также парогазовые энергоблоки с ГТУ, имеющие в качестве резервного дизельное топливо. Резервное дизельное топливо требует высоких эксплуатационных затрат, а именно: обогрев трубопроводов (на объекте исследования используется электрообогрев), ежемесячная проверка качества топлива по истечении пятилетнего гарантийного срока хранения [11], а также дополнительные затраты на техническое обслуживание двухтопливных газовых турбин (при их наличии на объекте). Таким образом, переход на однотопливные горелки в ГТУ и хранение СПГ в качестве РТ может повысить экономический потенциал решений.

## II. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводится путём сравнительной технико-экономической оценки эффективности решений по методике приведенных затрат на содержание текущих хозяйств дизельного и мазутного резервных топлив и сопоставляемого топлива – СПГ.

Практическая ценность работы заключается в получении конкретного результата для объекта исследования, а также в получении области эффективности перевода хозяйства РТ на использование СПГ, имеющей общий смысл и позволяющей использовать результаты работы при оценке перспектив перевода на других объектах.

Цель исследования. Оценка целесообразности замены хозяйства РТ на ТЭЦ-14 на хозяйство СПГ путем сравнения эксплуатационных затрат на существующее РТ и альтернативное хозяйство СПГ.

Для достижения цели работы требуется решить следующие задачи:

1. Анализ существующей системы хранения резервного топлива, тепловой схемы ТЭЦ и структуры производства электроэнергии и тепла с целью определения необходимого объема хранения СПГ.
2. Оценка эксплуатационных затрат на поддержание запаса резервного топлива на ТЭЦ-14 в состоянии готовности на основании отчетных данных по затратам энергоресурсов мазутного хозяйства прошлых лет.
3. Оценка эксплуатационных затрат альтернативного топливного хозяйства сжиженного природного газа.
4. Выводы о ежегодной экономии при переходе на альтернативное резервное топливо.

Существующее топливное хозяйство Первомайской ТЭЦ-14 включает в себя:

- мазутное хозяйство №2 (МХ-2);
- мазутное хозяйство №3 (МХ-3);
- хозяйство дизельного топлива и мазута (ХДТМ) с баковым хозяйством.

К оборудованию мазутного хозяйства МХ-3 относятся:

- железобетонные баки хранения мазута, строительным объемом 10000 м<sup>3</sup> – 4 штуки;
- два подогревателя мазута ПМ-10-120;
- бак сбора конденсата;
- насосное оборудование.

К оборудованию ХДТМ и бакового хозяйства относятся:

- сливная железнодорожная эстакада дизельного топлива (шесть устройств нижнего слива дизельного топлива и одно устройство комбинированное);
- сливная железнодорожная эстакада мазута (шесть устройств нижнего слива мазута);
- сливо-наливная автомобильная эстакада дизельного топлива;
- сливо-наливная эстакада мазута;
- два резервуара дизельного топлива, строительный объем 5000м<sup>3</sup>;

- два резервуара мазута, строительный объем 1000м<sup>3</sup>;
- здание ХДТМ, включающее:
  - насосную станцию мазута: насосное оборудование, подогреватели мазута (основные и циркуляционного контуров), фильтры;
  - насосную станцию дизельного топлива: насосное оборудование, подогреватели дизельного топлива (основные и циркуляционные), фильтры;
  - насосную автоматического пенопожаротушения резервуаров дизельного топлива.

К оборудованию МХ-2 относятся:

- железобетонные баки хранения мазута, строительным объемом 5000 м<sup>3</sup> – две штуки;
- три подогревателя мазута ПМ-10-120;
- две сливо-наливные эстакады железнодорожные;
- две приемные емкости, вместимостью 200, 400 м<sup>3</sup>;
- насосное оборудование.

Мазутное хозяйство №2 выведено из эксплуатации, технологические трубопроводы отглушены.

Газопотребляющее оборудование ТЭЦ-14 включает в себя 4 газотурбинные установки АЕ64.3А, 2 паровых котла Е-50 и 5 водогрейных котлов КВГМ-120. Расходы газа на газопотребляющее оборудование электростанции указаны в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1 ГАЗОПОТРЕБЛЯЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТЭЦ

Наименование агрегата	Количество, шт.	Расход газа на 1 агрегат, тыс. $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$	Суммарный расход газа, тыс. $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$
ГТУ АЕ64.3А	4	23,0	92,0
Водогрейные котлы КВГМ-120	5	14,8	74,0
Паровые котлы Е-50	2	4,0	8,0
ИТОГО			174,0

Запас резервного топлива на ТЭЦ-14 составляет примерно 23 000 тонн, из них 18 000 тонн мазута и 5 000 тонн дизеля, таким образом, теплотворная способность всего хозяйства резервного топлива около 32 000 т.у.т. Для альтернативного хозяйства РТ масса СПГ составляет примерно 20 000 т (47600 м<sup>3</sup>) исходя из теплотворной способности СПГ.

Эксплуатационные затраты на существующее хозяйство РТ можно разделить на постоянные затраты и переменные. К основным постоянным затратам существующего топливного хозяйства ТЭЦ-14 относятся:

- затраты пара на подогрев топлива при его хранении и при поддержании хозяйства в режиме «горячего резерва»;
- затраты электрической энергии на привод насосов прокачки мазута и обогрев топливопроводов дизельного хозяйства.

К основным переменным затратам существующего хозяйства РТ относятся:

- топливные затраты при работе на резерве;
- затраты пара на догрев поступающего в камеру сгорания топлива при нахождении топливного хозяйства в работе;
- затраты электроэнергии на привод насосов подачи топлива при нахождении топливного хозяйства в работе.

Все вышеперечисленные затраты можно представить в виде затрат топлива, пара и электрической энергии. Для оценки эксплуатационных затрат на поддержание запаса РТ в состоянии готовности стоимость энергетических ресурсов принята согласно табл. 2.

ТАБЛИЦА II ЦЕНЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Энергетический ресурс	Цена	Источник
Электроэнергия	1,12 р./кВт*ч	[1]
Тепловая энергия	760,70 р./Гкал	[12]
Мазут М-100 (с НДС)	9886,00 р./т	[13]
Топливо дизельное ЕВРО (с НДС)	31508,00 р./т	[14]
СПГ (с НДС)	14985,00 р./т	[15]

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам технико-экономического расчета получены значения совокупных эксплуатационных затрат в зависимости от расхода условного РТ (табл. 3).

В качестве альтернативного решения, позволяющего снизить эксплуатационные затраты резервного топлива, рассмотрим вариант замены существующего топливного хозяйства на хозяйство СПГ. К оборудованию хозяйства СПГ относится:

- резервуары хранения СПГ;
- комплект испарителей;
- криогенная насосная станция;
- система сбора и конденсации отпарного природного газа установками высокого давления с хладагентом-фреоном;
- станция наполнения и приема СПГ.

Системы регазификации СПГ можно разделить на системы с атмосферными испарителями и системы с паровыми испарителями СПГ. Для замены топливного хозяйства Первомайской ТЭЦ рассматривается вариант с паровыми испарителями СПГ в силу плотной городской застройки.

ТАБЛИЦА III ЗАТРАТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПОДДЕРЖАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ХОЗЯЙСТВА РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА В СОСТОЯНИИ ГОТОВНОСТИ В НАТУРАЛЬНОМ И СТОИМОСТНОМ ВЫРАЖЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГОДОВОГО РАСХОДА УСЛОВНОГО РТ

Расход резервного топлива, т.у.т./год	100	100000
<b>Переменные затраты на РТ</b>		
Затраты тепла на догрев топлива, Гкал	4,04	4039,96
Затраты электроэнергии, кВт·ч	4258,19	4258191,16
Затраты тепла на догрев топлива, тыс. р./год	3,07	3073,20
Затраты электроэнергии, тыс. р./год	4,77	4769,17
Затраты на топливо, тыс. р./год	1038,95	1038947,20
Итого переменные затраты, тыс. р./год	1046,79	1046789,57
<b>Постоянные затраты на хранение РТ</b>		
Расход пара, т./год	47981,00	47981,00
Расход тепла, Гкал/год	33401,00	33401,00
Расход э/э, тыс. кВт·ч/год	4399,16	4399,16
Затраты тепла, тыс. р./год	25549,40	25549,40
Затраты э/э, тыс. р./год	4927,06	4927,06
Итого постоянные затраты, тыс. р./год	30476,46	30476,46
<b>Эксплуатационные затраты, тыс. р./год</b>	<b>31523,25</b>	<b>1077266,03</b>

К постоянным затратам альтернативного хозяйства резервного топлива относятся затраты электроэнергии на сбор и конденсацию выпара СПГ. К переменным затратам относятся топливные затраты резервного топлива при работе на резерве и затраты тепловой энергии на испарение СПГ и нагрев газа, а также затраты электроэнергии на транспорт газа в камеру сгорания. Совокупные затраты на альтернативное топливное хозяйство резервного топлива представлены в табл. 4.

ТАБЛИЦА IV ЗАТРАТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПОДДЕРЖАНИЕ СПГ ХОЗЯЙСТВА РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА В НАТУРАЛЬНОМ И СТОИМОСТНОМ ВЫРАЖЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГОДОВОГО РАСХОДА УСЛОВНОГО РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА

Расход резервного топлива, т.у.т./год	100	100000
<b>Переменные затраты на РТ</b>		
Затраты тепла на догрев топлива, Гкал	8,70	8700,84
Затраты электроэнергии, кВт·ч	0,03	3,07
Затраты тепла на догрев топлива, тыс. р./год	6,62	6618,73
Затраты электроэнергии, тыс. р./год	0,03	3,44
Затраты на топливо, тыс. р./год	930,92	930918,80
Итого переменные затраты, тыс. р./год	937,57	937540,97
<b>Постоянные затраты на хранение РТ</b>		
Расход э/э, тыс. кВт·ч/год	2920,00	2920,00
Затраты тепла, тыс. р./год	0,00	0,00
Затраты э/э, тыс. р./год	3270,40	3270,40
Итого постоянные затраты, тыс. р./год	3270,40	3270,40
<b>Эксплуатационные затраты, тыс. р./год</b>	<b>4207,97</b>	<b>940811,37</b>

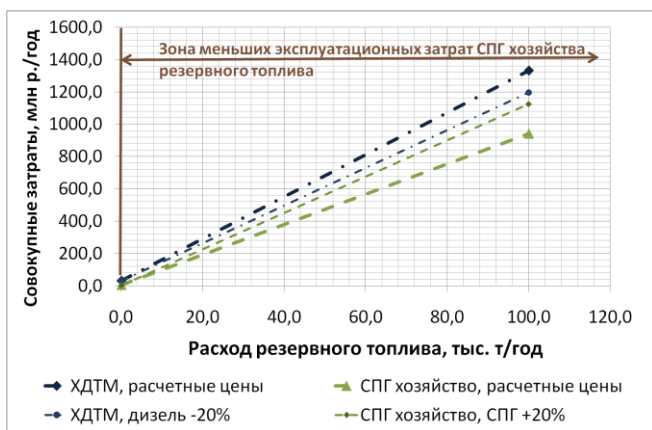


Рис. 1. Чувствительность эксплуатационных затрат на РТ к цене топлива для СПГ хозяйства и ХДТМ на ТЭЦ-14

Для ТЭЦ-14 переход на СПГ хозяйство РТ будет экономичнее. Экономия достигается при любом расходе условного топлива. При расходе резервного топлива на уровне 2016–2020 гг. ежегодная экономия эксплуатационных затрат на альтернативном хозяйстве РТ составит примерно 28 млн руб. Для простого срока окупаемости 10–15 лет стоимость перехода на СПГ должна составлять 280–420 млн р.

Для определения чувствительности результата к конъюнктуре цен на энергоносители (рис. 1) проведен технико-экономический расчёт. При отклонении цены мазута, или дизеля, или СПГ на 20%, вариант топливного хозяйства с СПГ имеет меньшие затраты на резервное топливо, чем существующий вариант. При малых расходах РТ существующее хозяйство менее эффективно из-за высоких постоянных затрат на МХ, при больших расходах РТ, существующее хозяйство менее эффективно из-за высоких эксплуатационных затрат из-за дорогого дизельного топлива.

Таким образом, главная причина слабой чувствительности ежегодной экономии перехода на СПГ к цене топлива – наличие на существующем хозяйстве РТ ТЭЦ-14 довольно дорогого дизельного топлива.

Область эффективности СПГ по сравнению только мазутным резервным топливом расположена при расходе РТ не более 7 000 т.у.т./год (рис. 2).

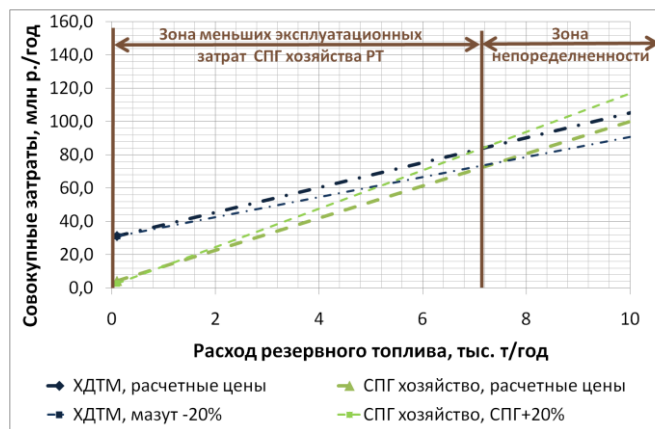


Рис. 2. Чувствительность эксплуатационных затрат МХ РТ и СПГ хозяйства РТ к цене топлива

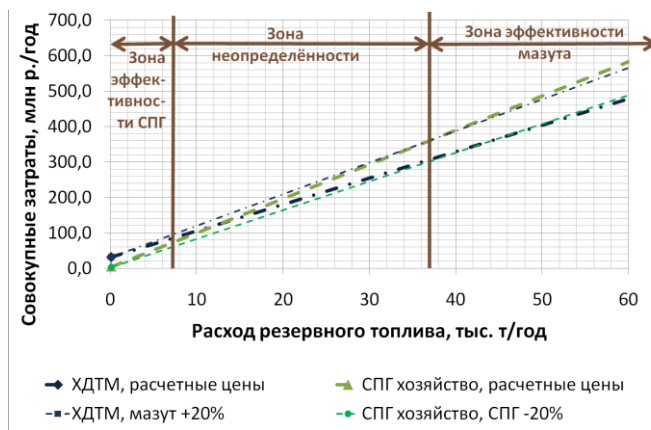


Рис. 3. Чувствительность эксплуатационных затрат МХ РТ и СПГ хозяйства РТ к цене топлива (продолжение графика)

При расходе РТ от 7 до 37 тыс. т.у.т./год затраты на содержание хозяйства жидкого РТ различных типов близки между собой и зависят от конъюнктуры цен на энергоресурсы, возможное колебание которых не даёт сделать однозначный вывод о целесообразности применения мазута или СПГ. При расходе РТ более 37 000 т.у.т./год более выгодно применение мазута в качестве РТ. Для электростанции с мазутным хозяйством РТ и небольшим среднегодовым расходом резервного топлива снижение эксплуатационных затрат на хозяйство РТ при переходе на СПГ объясняется большой величиной постоянных затрат на хранение мазута и его поддержание в режиме «горячего резерва». Для электростанций с мазутным хозяйством РТ и большим среднегодовым расходом РТ неэффективность замены хозяйства РТ с мазута на СПГ объясняется более низкой ценой тонны условного топлива мазута по сравнению с СПГ.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замена хозяйства резервного топлива Первомайской ТЭЦ-14 ПАО «ТГК-1» на хозяйство СПГ позволит снизить эксплуатационные затраты при любом годовом расходе резервного топлива. При расходе резервного топлива на уровне 2016–2020 годов ежегодная экономия эксплуатационных затрат на альтернативном хозяйстве РТ составит примерно 28 млн руб.

Область эффективности перевода электростанций на хозяйство СПГ резервного топлива включает электростанции с мазутным и дизельным резервными топливами и электростанции только с дизельным резервным топливом вне зависимости от годового расхода резервного топлива, а также электростанции только с мазутным хозяйством при среднегодовом расходе мазута не более 7 000 т.у.т. в год.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Актуализированная схема теплоснабжения Санкт-Петербурга на 2021 год, утвержденная приказом Минэнерго России от 12.11.2020 № 991.
- [2] Заединов А.В. Особенности использования мазута в качестве резервного топлива // Молодой ученый. 2018. No47. С. 37-39. URL <https://moluch.ru/archive/233/54169/>.
- [3] Заединов А.В. Целесообразность отказа от использования мазута в качестве резервного топлива / А.В. Заединов // Colloquium-journal. 2019. № 9-1(33). С. 60-62.
- [4] McFarlan, A. (2020). Techno-economic assessment of pathways for liquefied natural gas (LNG) to replace diesel in Canadian remote northern communities. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 42(March), 100821. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100821>.

- [5] Маркин В.В. Проблемы резервного топлива // Новости Теплоснабжения. 2006. № 11 (75).
- [6] Широ́в М.С. Резервное топливное хозяйство как один из методов повышения эффективности работы котельных / М.С. Широ́в, Р.А. Шершенов, С.А. Мальцев // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 2-2. С. 135-140.
- [7] Батыршина А.И. Использование СПГ в качестве резервного топлива на ТЭС ПГУ в Калининграде / А.И. Батыршина, Р.А. Молчанова // Трубопроводный транспорт - 2016: Материалы XI Международной учебно-научно-практической конференции, Уфа, 24–25 мая 2016 года. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016. С. 341-342.
- [8] Выбор вида жидкого топлива для котельной / К.Ю. Дегтярев, Н.С. Зотов, С.А. Минкина, Е.А. Черноброва // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9. № 3(36). С. 22-32. – DOI 10.17673/Vestnik.2019.03.4..
- [9] Рацин Е.А. Проблемы и задачи сбережения резервного топлива при использовании газа / Е.А. Рацин, П.И. Каргапольцев // Повышение энергоэффективности объектов и систем теплоснабжения : Материалы всероссийской научно-технической конференции, Омск, 21–22 марта 2019 года. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2019. С. 153-157.
- [10] Перспективы использования сжиженного природного газа в качестве резервного и аварийного топлива на электростанциях группы “Газпром Энергохолдинг” / О.О. Мильман, В.Б. Перов, М.В. Федоров [и др.] // Теплоэнергетика. 2021. № 7. С. 5-18. DOI 10.1134/S0040363621130026.
- [11] ГОСТ 305-2013 Топливо дизельное.
- [12] Распоряжение комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 18 декабря 2019 года N 228-р “О внесении изменений в распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 19.12.2018 N 199-р”.
- [13] Электронный ресурс: "Группа компаний Трэйд-Ойл"
- [14] <https://www.trader-oil.ru/catalog/sankt-peterburg/mazut-m-100/> (дата обращения 12.11.2021).
- [15] Электронный ресурс: "Группа компаний Трэйд-Ойл"
- [16] <https://www.trader-oil.ru/catalog/dizelnoe-toplivo-eyvro/> (дата обращения 12.11.2021).
- [17] Родичкин И.Г. Сравнение стоимости доставки природного газа трубопроводным транспортом и с помощью «виртуального газопровода» для газификации отдаленных населенных пунктов / И.Г. Родичкин, П.В. Сарафанников, С.Н. Иванов // Газовая промышленность. 2020. №6. 801.