

Эта схема позволила выявить все особенности функционирования лабораторного стенда, а также проверить правильность расчёта параметров электронных компонентов.

В методических указаниях к лабораторной работе студентам предлагается выполнить измерения и построить угловую характеристику ИОНМ, рассчитать коэффициент возврата и угол максимальной чувствительности, сделать выводы о влиянии знаков активной и реактивной мощности на срабатывание и возврат ИОНМ. Кроме этого, студенты изучают осциллограммы в различных узлах ИОНМ, что позволяет более глубоко и правильно понять как физику процессов изменения направления мощности в электрических сетях, так и особенности функционирования и настройки электронных ИОНМ.

Разработанный лабораторный стенд будет использоваться для выполнения лабораторной работы по дисциплинам «Автоматизация электрических сетей» и «Микропроцессорные и микроэлектронные устройства в энергетике».

УДК 620.92

## **РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГТУ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ТЭЦ В МЕЖОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ТЭЦ-2**

**В. П. Ключинский**

**научный руководитель М. Н. Новиков, к.т.н., доцент**  
*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет им. П. О. Сухого»  
г. Гомель, Республика Беларусь, vlad240394@mail.ru*

**Ключевые слова:** энергосбережение, применение ГТУ, отопительные ТЭЦ, повышение эффективности работы ТЭЦ.

**Key words:** energy saving, application of gas turbine units, heating thermal power plants, increasing the efficiency of the combined heat and power plant.

## **Резюме**

Были изучены различные варианты создания ГТУ, надстройки ПТУ и создания ПГУ для Гомельской ТЭЦ-2, выбран наиболее целесообразный вариант, изучен режим совместной работы нового оборудования с существующим энергоблоком и необходимость изменения режима используемого до реконструкции, рассчитана экономическая эффективность проекта.

## **Summary**

Various options for creating a gas turbine plant, a superstructure for a steam turbine unit and a combined-cycle plant for the Gomel Heat and Power Plant № 2 were studied, the most expedient option was selected, the mode of joint operation of the new equipment with the existing power unit and the need to change the regime used before reconstruction was calculated, and the economic efficiency of the project was calculated.

## **Введение**

ТЭЦ являющиеся источниками тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения (отопительные ТЭЦ) в летний период времени сталкиваются со снижением тепловой нагрузки и как следствие снижением загрузки энергоблоков. В свою очередь низкая загрузка энергоблока отрицательно сказывается на его технико-экономических показателях [1].

Цель работы – исследование возможности применения газотурбинных и парогазовых установок для повышения технико-экономических показателей работы отопительных ТЭЦ в межотопительный период.

Поэтому целью данной работы является исследование возможности применения газотурбинных и парогазовых установок для повышения технико-экономических показателей работы отопительных ТЭЦ в межотопительный период.

Согласно закону «Об Энергосбережении» от 8 января 2015 г. одной из приоритетных задач Республики Беларусь является эффективное и рациональное использование топливно-

энергетических ресурсов. Поэтому существует необходимость постоянного повышения эффективности работы генерирующих мощностей.

В связи с бурным развитием и имеющимся положительным опытом внедрения в энергетику Республики Беларусь газотурбинных и парогазовых технологии была изучена возможность применения данных установок для повышения технико-экономических показателей работы отопительных ТЭЦ в межотопительный период на примере Гомельской ТЭЦ-2.

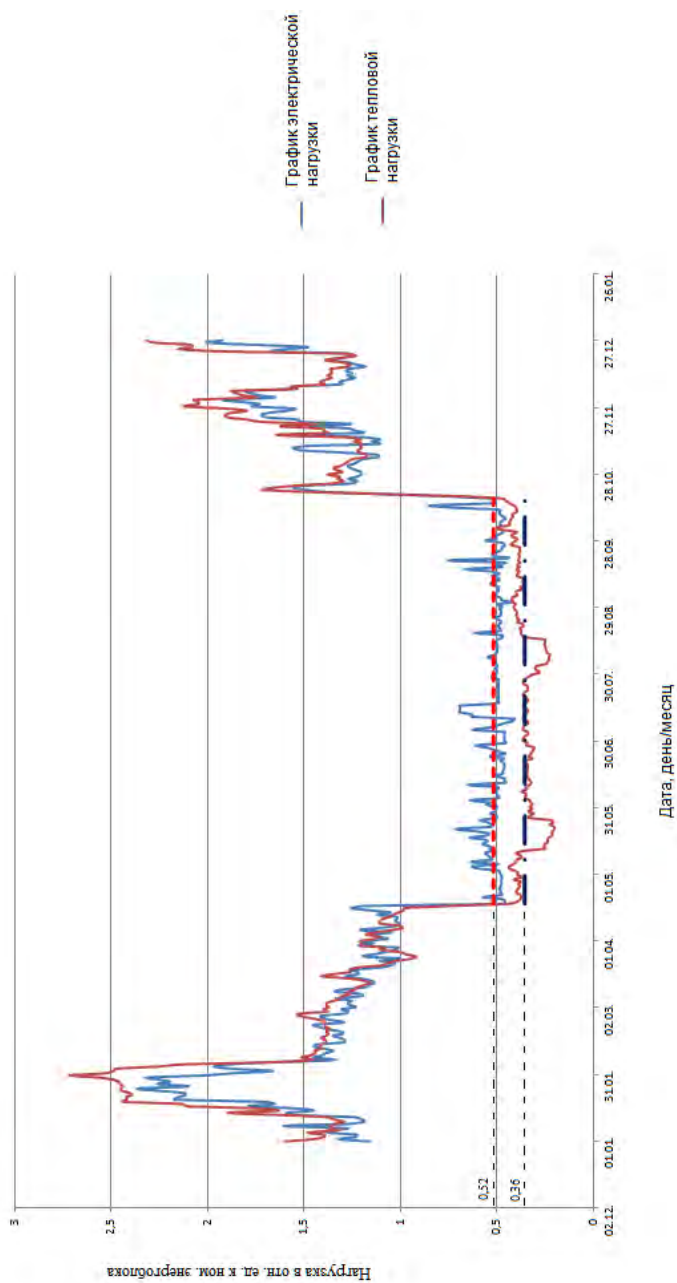


Рисунок 1 – График работы отопительной ТЭЦ

Изучение графика работы отопительных ТЭЦ выявило, что в межотопительный период в работе находится один энергоблок со средней электрической нагрузкой 52% и средней тепловой нагрузкой 36%. Подобная картина складывается и для других отопительных ТЭЦ в различных странах.

Существуют различные варианты газотурбинных установок (ГТУ) и надстройки паротурбинных установок (ПГУ) газовыми турбинами для создания парогазовых установок (ПГУ). Для сравнения были выбраны следующие варианты:

1. Установка газовой турбины со сбросом газов в газовой водяной подогреватель рис 2 (а) (котел утилизатор) для подогрева сетевой воды, мощностью необходимой для покрытия теплового графика нагрузки в межотопительный период [2]. Расчеты показали, что для покрытия тепловой нагрузки в межотопительный период потребуется газотурбинная установка мощностью 110 МВт.

2. Установка новой ПГУ с котлом-утилизатором мощностью 230 МВт, для покрытия теплового графика нагрузки в межотопительный период рис 2 (б).

3. Надстройка существующего энергоблока газовой турбиной для создания ПГУ сбросного типа (рис 2 в), в которой выходные газы ГТУ направляются в топку энергетического парового котла, где они используются в качестве окислителя. Объемная концентрация кислорода в выхлопных газах ГТУ составляет от 13 до 16 % [3]. Поэтому для окисления поступающего топлива потребуется 103,7 кг выхлопных газов ГТУ в секунду, что соответствует газовой турбине мощностью 36 МВт. А теплота дымовых газов, идущая на подогрев воздуха, пойдет на частичное замещение регенерации.

4. ПГУ с полузависимой схемой рис 2 (г). Теплота выхлопных газов газовой турбины утилизируется в теплообменниках высокого и низкого давления, куда поступает питательная вода и основной конденсат. Для анализа были рассмотрены три варианта ПГУ с полузависимой схемой: 1. С замещением регенерации низкого давления (потребуется ГТУ мощностью 11 МВт). 2. С замещением регенерации высокого давления (потребуется ГТУ мощностью 10 МВт). 3. С замещением регенерации низкого и высокого давления (потребуется ГТУ мощностью 21 МВт).

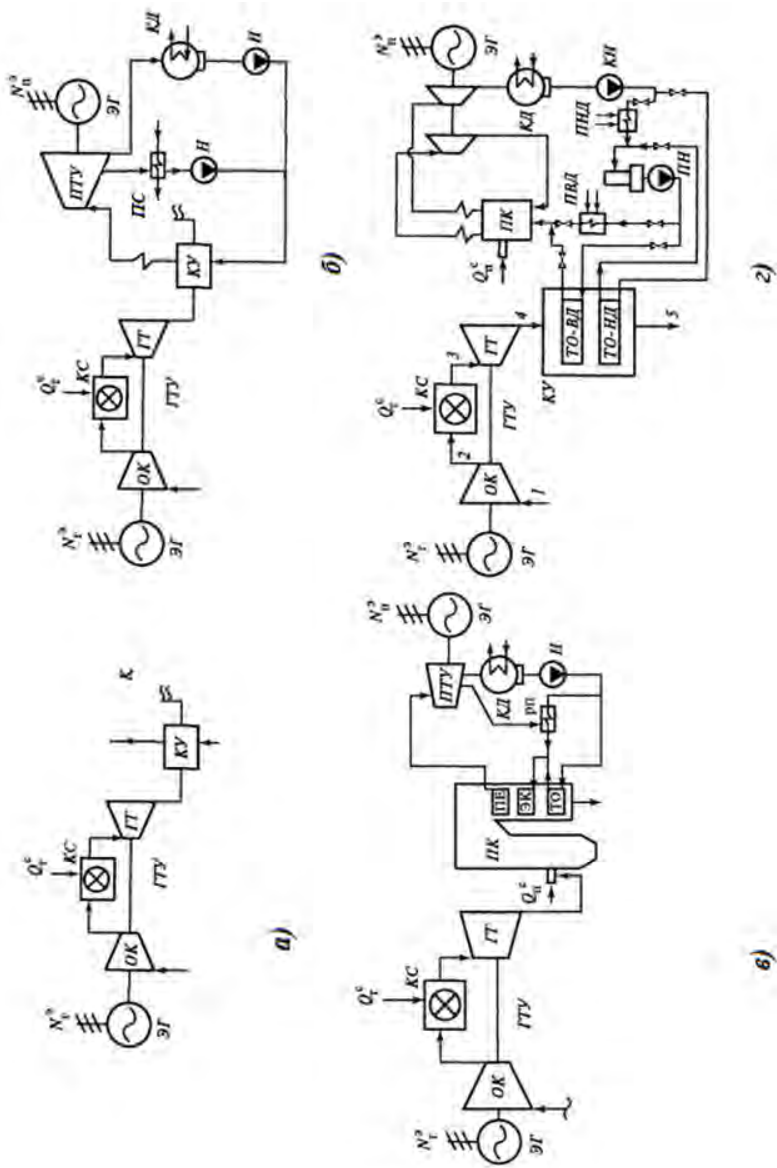


Рисунок 2 – Схемы газотурбинных установок

Для сравнения данных вариантов произведен эксергетический расчет и получены значения эксергетических КПД анализируемых циклов. Определены изменения удельных расходов топлива на выработку электрической энергии и статический срок окупаемости проектов. Результаты данных расчетов представлены в таблице 1.

*Таблица 1 – Результаты исследования различных вариантов повышения эффективности Гомельской ТЭЦ-2 в межсезонный период*

		Эксергетический КПД, %	Изменение удельного расхода топлива на выработку электрической энергии, %	Статический срок окупаемости, лет
ГТУ с котлом-утилизатором		18,7	–	–
ПГУ с котлом-утилизатором		55	– 45,49	13,48
ПГУ сбросного типа		37,9	– 20,9	4,45
ПГУ с полузависимой схемой	с замещением регенерации высокого давления	32,04	– 6,43	4,47
	с замещением регенерации низкого давления	31,97	– 6,23	5,24
	с замещением регенерации высокого и низкого давления	33,6	– 10,82	5,35

Анализ полученных результатов показал, что наиболее привлекательными являются два варианта: ПГУ сбросного типа и ПГУ с полузависимой схемой с замещением регенерацией

высокого давления. Однако более целесообразным является вариант ПГУ сбросного типа, т.к. у данного варианта при одинаковых сроках окупаемости более значительно изменение удельного расхода топлива на выработку электрической энергии и более значительная мощность газотурбинной установки.

Для определения возможности работы парового котла с подачей в топку выхлопных газов ГТУ был произведен тепловой расчет топочной камеры котла.

Топочная камера данной модели котлов имеет обычную призматическую форму с размерами в плане 7680x18000 мм. Объём топочной камеры – 2444,4 м<sup>3</sup>.

Стены топочной камеры экранированы газоплотными панелями, выполненными из труб Ø 60 x 6 мм (сталь 20). Между трубами сварены полосы сечением 21,5 x 6 мм (сталь 20), шаг между трубами – 80 мм.

В нижней части топки трубы фронтального экрана образуют скат с углом наклона к горизонту 15°

Результаты расчета топки котла представлены в таблице 2.

*Таблица 2. Результаты теплового расчета топки котла*

Наименование величины	Единицы измерения	Значение
Количество теплоты, выделяемое в топке	кДж/м <sup>3</sup>	47,8·10 <sup>3</sup>
Адиабатическая температура горения	°С	1509
Температура газа на выходе из топки	°С	996
Тепловосприятие топки по балансу	кДж/м <sup>3</sup>	17,65·10 <sup>3</sup>

Сравнив количество теплоты, воспринятое топкой котла, и количество теплоты, необходимое для парообразования воды, поступающей в барабан котла, было обнаружено, что данные величины равны. Данный факт свидетельствует о том, что выхлопные газы ГТУ поступающие в топку котла создают

достаточные и необходимые условия для теплообмена в топке котла (отсутствие перегрева экранных поверхностей и ухудшения теплообмена в топке). Таким образом, выхлопные газы ГТУ выполняют функцию рециркуляции дымовых газов характерную для данной модели котлов в данном режиме работы.

Для определения режима работы котла необходимо сравнить расходы дымовых газов протекающих через газовый тракт парового котла до и после реконструкции (рис 2).

На рисунке 2 представлены схемы потоков газов поступающих в топку котла. На рисунке 2 (а) представлена схема потоков газов для существующего (обычного) режиме работы котла. В данном режиме в топку поступают три потока газов: природный газ ( $G_{газа1}$ ), воздух ( $G_{возд}$ ) и рециркулируемые дымовые газы ( $G_{pec}$ ). В ходе процесса горения получают дымовые газы которые с расходом  $G_{дг1}$  проходят по газовому тракту котла. На рисунке 2 (б) представлена схема потоков газов после реконструкции энергоблока с созданием ПГУ сбросного типа. В данном режиме в топку поступают два потока газов: природный газ ( $G_{газа2}$ ) и выхлопные газы ГТУ ( $G_{выхл ГТУ}$ ). В ходе процесса горения получатся дымовые газы с расходом  $G_{дг2}$ , которые проходят по газовому тракту котла.

Сравнив расходы дымовых газов протекающих через газовый тракт котла выявлено, что разница в расходах дымовых газов в данных режимах работы составляет 1,6% т. е.  $G_{дг1} \approx G_{дг2}$

Что означает, что реконструкция энергоблока не должна повлиять на режим работы котла.

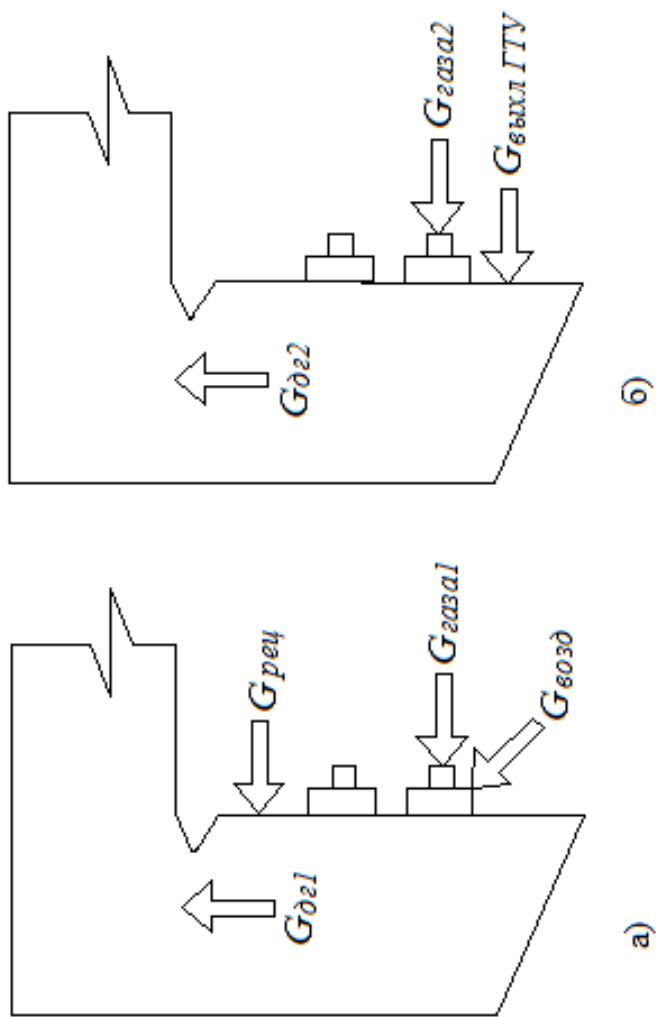


Рисунок 2 – Схемы потока газов в топке котла а) до реконструкции; б) после реконструкции

## **Заключение**

Для повышения эффективности работы отопительных ТЭЦ в межотопительный период наиболее привлекательным является вариант с надстройкой существующих энергоблоков газовыми турбинами для создания ПГУ сбросного типа. Согласно расчетам топки котла, такое энергосберегающее мероприятие не приведет к изменению режима работы котлоагрегата, и как следствие не потребует существенной реконструкции энергетического котла, а экономия топлив составит 15060 тун в год. Срок окупаемости данного мероприятия составит 4,45 лет.

Основными достоинствами данного энергосберегающего мероприятия являются: снижение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии (на 20,9%); повышение маневренности ТЭЦ; возможность автономной работы паросилового цикла.

Основным недостатком данного энергосберегающего мероприятия является нецелесообразность ежедневных остановов ГТУ (вследствие ее быстрого выхода из строя) для прохождения ночных минимумов нагрузки энергосистемы.

## **Литература**

1. Лавыгин, В. М. Тепловые электрические станции / В. М. Лавыгин, А. С. Седлов, С. В. Цанев. – М.: издательский дом МЭИ, 2009. – 467 с.
2. Зысин, В. А. Комбинированные парогазовые установки и циклы / В. А. Зысин. – Л.: ГЭИ, 1962. – 187 с.
3. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М.: издательский дом МЭИ, 2009. – 579 с.
4. Александров, А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок / А. А. Александров. – М.: издательский дом МЭИ, 2004. – 159 с.