

УДК 621.311.22

## Разработка расчетных моделей котла-утилизатора для анализа эффективности сжигания дополнительного топлива

Е.С. Малков, Б.Л. Шелыгин  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
г. Иваново, Российская Федерация  
E-mail: admin@tes.ispu.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Уходящие газы котлов-утилизаторов парогазовых установок обладают достаточным потенциалом для выработки дополнительной мощности за счет их использования в качестве окислителя специально сжигаемого топлива. Для анализа возможности использования уходящих газов для выработки тепловой энергии на нужды теплофикации необходимо определить оптимальное размещение камеры сжигания дополнительного топлива и газовой теплообменной поверхности в газовом тракте котла-утилизатора.

**Материалы и методы:** Разработка расчетных моделей котла-утилизатора осуществлена с использованием технической документации ПГУ-325 и программного комплекса Boiler Designer (Optsim-K).

**Результаты:** Разработаны расчетные модели котла-утилизатора, отличающиеся особенностями расположения камеры сжигания дополнительного топлива и теплообменных поверхностей в хвостовой части котла-утилизатора.

**Выводы:** Использование разработанных моделей позволит провести расчетное исследование эффективности использования уходящих газов и определить оптимальную компоновку элементов газового тракта котла-утилизатора.

**Ключевые слова:** модель газового тракта, котел-утилизатор, камера сжигания дополнительного топлива, газовой теплообменник.

## Developing Calculation Models of Recovery Boiler for Analyzing Burning Efficiency of Additional Fuel

E.S. Malkov, B.L. Shelygin  
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation  
E-mail: admin@tes.ispu.ru

### Abstract

**Background:** Exhaust gases of recovery boilers of combined-cycle units have enough potential to make additional power due to their usage as the oxidizer of purposely fuel combustion. To analyze the possibility of exhaust gases usage for heat energy generation in industrial heating, it is important to define the optimal placement of additional fuel combustion chamber and heat-exchanging unit in the recovery boilers flue gas path.

**Materials and methods:** Developing the calculation models of recovery boilers is carried out with the usage of PGU-325 technical documentation and Boiler Designer (Optsim-K) software system.

**Results:** The authors developed the calculation models of recovery boiler with different location of the additional fuel combustion chamber and heat exchange surfaces at the tail piece of flue gas path.

**Conclusions:** The developed models allows conducting calculation researches of flue gases efficiency and to determine the optimal arrangement of flue gas path.

**Key words:** model of flue gas path, heat recovery boiler, combustion chamber of additional fuel, gas-water heat exchanger.

Основным направлением стратегии отечественной энергетики является повышение эффективности оборудования за счет выявления неиспользованных возможностей его эксплуатации [1].

Уходящие газы котлов-утилизаторов (КУ) парогазовых установок (ПГУ) обладают достаточным потенциалом для выработки дополнительной мощности за счет использования уходящих из КУ газов в качестве окислителя специально сжигаемого топлива [2].

Потенциал уходящих газов предложено использовать для выработки тепловой энергии в виде горячей воды на нужды теплофикации.

В данном случае увеличение тепловой мощности электростанции предлагается за счет реконструкции хвостовой части котла-утилизатора, что предполагает гораздо меньшие капитальные затраты по сравнению с установкой водогрейного котла. Для реконструкции КУ предлагается установка камеры сжигания дополнительного топлива (КСДТ) и газовой теплообменной поверхности (ГВТО). При этом важно определить их оптимальное расположение. Качественное, быстрое и достоверное решение задач расчетных исследований и анализ наиболее эффективных условий работы энергетического оборудования могут быть выполнены

только с использованием самых современных программных продуктов [3]. Для решения поставленной задачи с использованием программного комплекса Boiler Designer (Optsim-K) разработаны расчетные модели котла-утилизатора, отличающиеся особенностями расположения КСДТ, ГВТО и газового подогревателя конденсата (ГПК).

При этом использовалась технологическая схема ПГУ-325 Комсомольской ГРЭС, в состав которой входят две газовые турбины ГТЭ-110, два котла-утилизатора марки П-88 и одна паровая турбина К-110-6,5. В данной схеме отпуск тепловой энергии на нужды теплофикации осуществляется от водоводяного теплообменного аппарата, греющая среда на который подается с линии основного конденсата после ГПК. Так как паровая турбина конденсационного типа, то отпуск тепловой энергии от энергоблока ограничен. Поэтому необходимо рассмотреть варианты реконструкции станции для увеличения отпуска тепловой энергии на теплофикацию.

В качестве вариантов реконструкции рассмотрены три схемы размещения элементов в хвостовой части газового тракта КУ:

1) за ГПК последовательно установлены КСДТ и ГВТО (рис. 1);

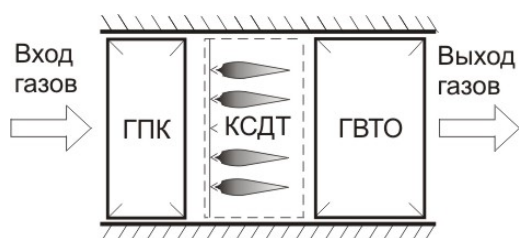


Рис. 1. Фрагмент газового тракта КУ (вариант 1)

2) за КСДТ последовательно установлены ГПК и ГВТО (рис. 2);

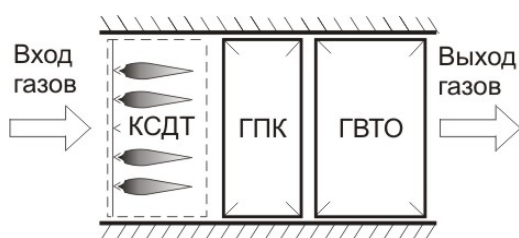


Рис. 2. Фрагмент газового тракта КУ (вариант 2)

3) за КСДТ параллельно установлены ГПК и ГВТО (рис. 3).

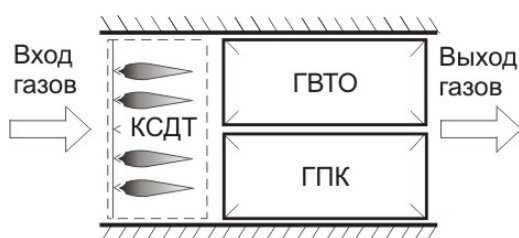


Рис. 3. Фрагмент газового тракта КУ (вариант 3)

Расчетная модель содержит две основные рабочие структуры: «Группа Вода» и «Газоход». Структура «Группа Вода» представляет собой расчетную схему пароводяного тракта на базе дубль-блока ПГУ-325 (рис. 4). Каждый из КУ включает в себя два парогенерирующих контура с естественной циркуляцией: высокого (ВД) (7,05 МПа) и низкого (НД) (0,69 МПа) давлений. Расчетные модели трактов ВД и НД являются сложными группами, каждая из которых состоит из вложенных элементов: водяной экономайзер, барабан, пароперегреватель и циркуляционный контур, включающий в себя испарители, раздающие и собирающие коллекторы.

Паровая турбина К-110-6,5 имеет два цилиндра. Пар контура ВД подается в проточную часть цилиндра высокого давления (ЦВД). Цилиндр высокого давления имеет два корпуса: внутренний и наружный. Внутренний корпус ЦВД объединяет восемь первых ступеней давления. Пар контура НД подается в проточную часть ЦВД между 14-й и 15-й ступенями. После ЦВД пар поступает в двухпоточный цилиндр низкого давления (ЦНД) и далее через выхлопные патрубки направляется в конденсатор.

Структура «Газоход» для каждого блока содержит газотурбинную установку (ГТУ) и следующие за ней элементы газового тракта КУ. В каждом котле по ходу газов последовательно располагается пароперегреватель ВД (ПЕВД), испаритель ВД (ИВД), экономайзер ВД (ЭВД), пароперегреватель НД (ПЕНД), испаритель НД (ИНД). Расположение ГПК, КСДТ и ГВТО в разработанных моделях различно.

Расчетные схемы для трех вариантов установки элементов газового тракта КУ, выполненные в программном комплексе Boiler Designer, представлены на рис. 5, 6, 7 соответственно. Все элементы поверхностей нагрева включены как в газовый, так и в пароводяной тракты.

Структуры «Газоход» и «Группа Вода» являются вложенными группами элемента «Общие данные». В качестве исходных данных, необходимых для расчета, использованы технические условия на соответствующее оборудование<sup>1</sup>.

На основании ранее выполненного анализа [4] максимальное значение относительно расхода топлива в КСДТ принято равным 0,2. В качестве окислителя в процессе горения топлива используется только кислород, содер-

<sup>1</sup> Котел-утилизатор Е-155/35-7,3/0,7-501/232 (П-88) для ПГУ-325 ОАО «Ивановские ПГУ». Технические условия на изготовление и поставку. ТУ 3112-470-05015331-2005. БЕ «Сервис» ОАО РАО «ЕЭС России», 2005; Турбина паровая К-110-6,5 для ПГУ-325 ОАО «Ивановские ПГУ». Технические условия на изготовление и поставку. 8600001 ТУ 11 02. БЕ «Сервис» ОАО РАО «ЕЭС России», 2005; Технические условия на газотурбинную энергетическую установку ГТЭ-110. 095108000 ТУ. ОАО РАО «ЕЭС России», 2003.

жающийся в выхлопных газах ГТУ. Подача дополнительного воздуха не осуществляется.

Расчетная схема включения ГВТО приведена на рис. 8. Для обеспечения температуры на входе в теплообменник, равной 60°C, и поддержания необходимой температуры на выводе в тепловую сеть установлены соответствующие системы регулирования.

Поверхность нагрева ГВТО подбиралась путем изменения количества рядов труб по ходу газов ( $z_2$ ) исходя из следующих критериев:

- обеспечение допустимой температуры на выходе из газового тракта на уровне 100–110 °С;
- исключение температурных перекосов по ширине газового тракта.

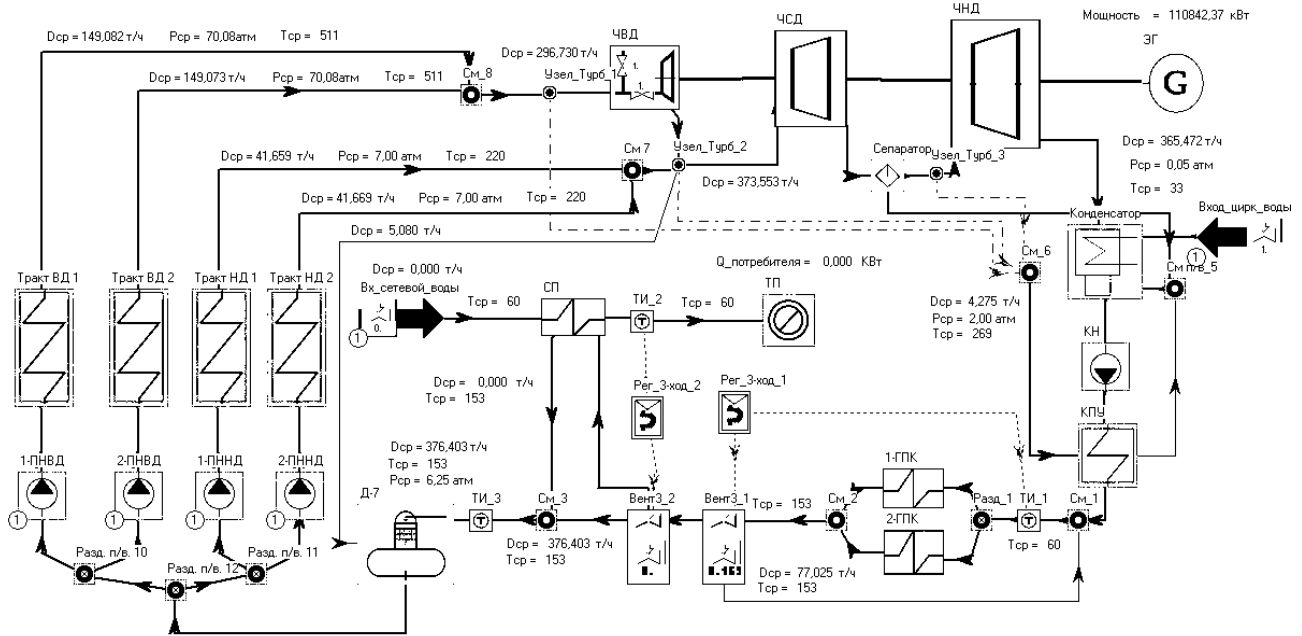


Рис. 4. Расчетная схема пароводяного тракта на базе дубли-блока ПГУ-325

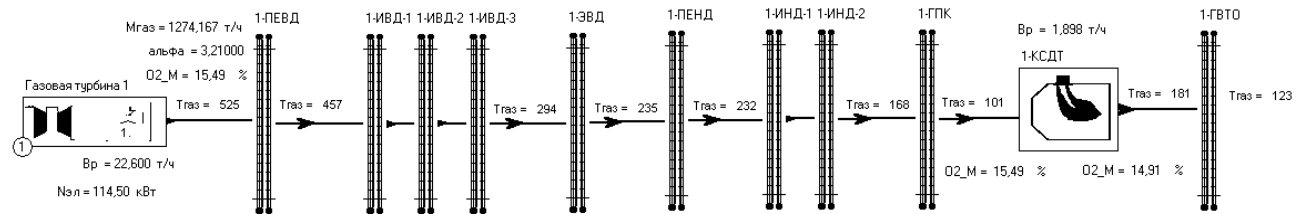


Рис. 5. Расчетная схема газового тракта КУ для варианта 1

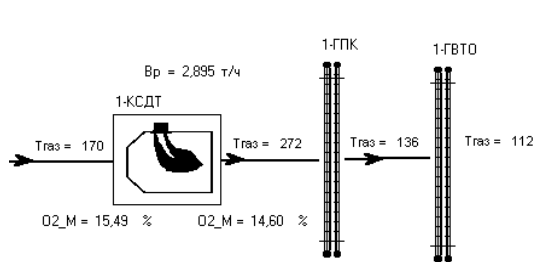


Рис. 6. Фрагмент расчетной схемы газового тракта КУ для варианта 2

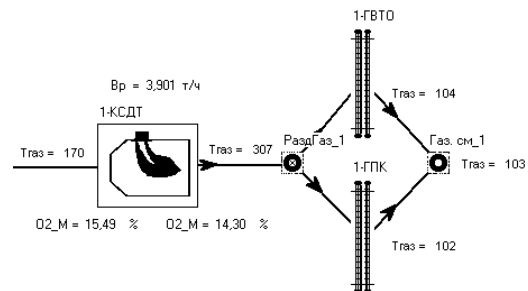


Рис. 7. Фрагмент расчетной схемы газового тракта КУ для варианта 3

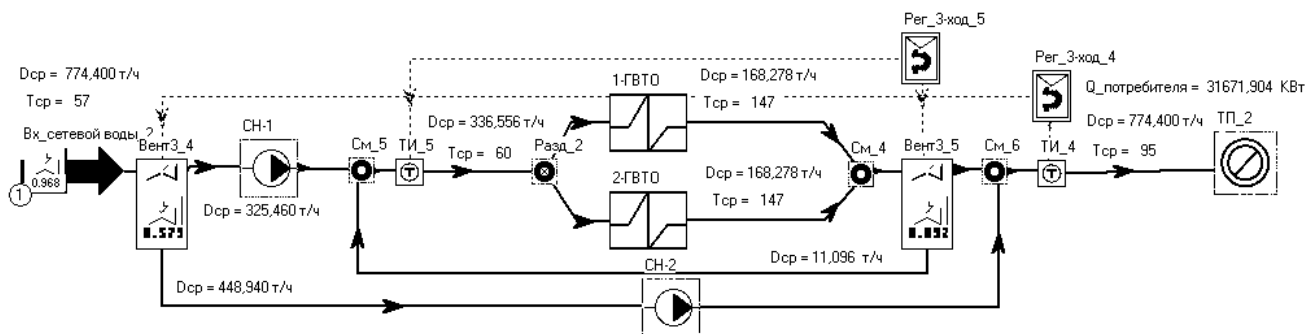


Рис. 8. Расчетная схема включения ГВТО по сетевой воде

Основные характеристики ГВТО, необходимые в качестве исходных данных для расчета, приведены в таблице.

Установлено, что размещение дополнительных элементов (КСДТ и ГВТО) увеличит

сопротивление газового тракта и, как следствие, вызовет снижение электрической мощности ГТУ. Но значительное увеличение отпуска тепловой энергии позволит компенсировать этот недостаток и увеличит КПД энергоблока.

#### Основные технические характеристики газодыяного теплообменника

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
Расположение труб	-	-	Шахматное
Наружный диаметр	$D_{\text{нар}}$	мм	38
Толщина стенки трубы	$S_{\text{тр}}$	мм	3
Поперечный шаг труб	$S_1$	мм	82
Продольный шаг труб	$S_2$	мм	85
Ширина газохода	$B_{\text{г}}$	м	9,59
Высота газохода	$A_{\text{г}}$	м	11,63
Количество рядов труб по ширине газохода	$N_{\text{г,д}}$	шт.	116
Марка используемой стали	-	-	Ст. 20

Разработанные расчетные модели позволяют провести анализ эффективности использования уходящих газов в качестве окислителя для сжигания дополнительного топлива для разных вариантов газового тракта КУ, на основе которого будет выбрана наиболее оптимальная компоновка хвостовых поверхностей нагрева. Для выбранного варианта реконструкции будет проведено исследование на изменение показателей работы при различных влияющих условиях.

#### Список литературы

1. Анализ направлений развития отечественной теплоэнергетики / А.В. Мошкарин, М.А. Девичкин, Б.Л. Шельгин, В.С. Рабенко; под ред. А.В. Мошкарин / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002. – 256 с.
2. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / под ред. С.В. Цанева. – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
3. Расчет котельных агрегатов с использованием современных программных продуктов: учеб. пособие /

Г.И. Доверман и др. // Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2007. – 220 с.

4. Шельгин Б.Л., Мошкарин А.В., Малков Е.С. Тепловая эффективность использования уходящих газов котла-утилизатора при сжигании дополнительного топлива // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 4. – С. 8–12.

#### References

1. Moshkarin, A.V., Devochkin, M.A., Shelygin, B.L., Rabenko, V.S. *Analiz napravleniy razvitiya otechestvennoy teploenergetiki* [Fields Analysis in Development of Domestically Power System]. Ivanovo, 2002. 256 p.
2. Tsanev, S.V., Burov, V.D., Remezov, A.N. *Gazoturbinnye i parogazovye ustanovki teplovykh elektrostantsiy* [Gas Turbine and Combined-cycle Gas Turbine Heat Power Plants]. Moscow, Izdatel'stvo MEI, 2002.
3. Doverman, G.I. *Raschet kotel'nykh agregatov s ispol'zovaniem sovremennykh programnykh produktov* [Calculation of Boiler Units using Modern Software Products]. Ivanovo, 2007. 220 p.
4. Shelygin, B.L., Moshkarin, A.V., Malkov, E.S. *Teplovaya effektivnost' ispol'zovaniya ukhodyashchikh gazov kotla-utilizatora pri szhiganiy dopolnitel'nogo topliva* [Heat Efficiency of Usage of Exhaust Gases in Heat Recovery Boiler at Additional Fuel Burning]. *Vestnik ISPEU*, 2012, issue 4, pp. 8–12.

Малков Евгений Сергеевич,  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант, инженер кафедры тепловых электрических станций,  
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,  
телефон (4932) 26-99-31,  
e-mail: admin@tes.ispu.ru

*Шельгин Борис Леонидович,*  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,  
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,  
телефон (4932) 26-99-31,  
e-mail: admin@tes.ispu.ru