

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА  
ДАУКЕЕВА»

ISSN 1999-9801

# В Е С Т Н И К

## АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Учрежден в июне 2008 года

Тематическая направленность: теплоэнергетика, электроэнергетика, радиотехника и связь,  
космическая инженерия и технологии, информационные технологии, экология, обеспечение  
жизнедеятельности, вопросы высшей технической школы

---

**1 (52)**

**2021**

Импакт-фактор - 0.105

Научно-технический журнал  
Выходит 4 раза в год

Алматы

# ВЕСТНИК АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

## СВИДЕТЕЛЬСТВО

О постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ14VPY00024997

выдано

Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

Подписной индекс – 74108

---

### Бас редакторы – главный редактор

Стояк В.В.

К. т.н., профессор

Заместитель главного редактора  
Ответственный секретарь

Жауыт Алгазы, доктор PhD  
Шуебаева Д.А., магистр

### Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Сагинтаева С.С., д-р экон. наук, канд. физ.- мат. наук, академик МАИН, ректор НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Гита Ревалде, доктор PhD, член-корреспондент Академии наук Латвии, директор Национального Совета науки, Рига, Латвия

Главный редактор – Стояк В.В., канд. техн. наук, профессор, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Заместитель главного редактора – Жауыт А., доктор PhD, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Илиев И.К., д-р техн. наук, Русенский университет, Болгария

Белоев Кристо, д-р техн. наук, Русенский университет, Болгария

Галайко Дмитрий, доктор PhD, университет Сарбонны, Франция

Такая Инамори, доктор PhD, Университет Токио, Япония

Цветков В.Ю., д-р техн. наук, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Белоруссия.

Кузнецов А.А., д-р техн. наук, ФГБОУ ВА «Омский государственный университет путей сообщения», Российская Федерация.

Авезова Н.Р., д-р, техн. наук, Министерство инновационного развития Республики Узбекистан.

Мунц В.А., д-р техн. наук ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
Российская Федерация.

Мустафин М.А., д-р техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Обозов А.Д., д-р техн. наук, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызская Республика

Орумбаев Р.К., д-р техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Потехин В.В., канд. техн. наук доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Франческо Сандоро, доктор PhD, Университет Альдо Моро, Бари, Италия

Туманбаева К.Х., канд. техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Мутуле Анна, доктор PhD, Рижский Технический Университет, Латвия

Махмутов С.К., канд. истор. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Алипбаев К.А., доктор PhD, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Кабдушев Б.Ж., канд. истор. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

---

За достоверность материалов ответственность несут авторы.

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник АУЭС» обязательна.



## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

МРНТИ 44.31.31

[https://doi.org/10.51775/1999-9801\\_2021\\_52\\_1\\_16](https://doi.org/10.51775/1999-9801_2021_52_1_16)

### ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ТЭС

**Б.К. Муханов, Г.Т. Искакова\***

НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан  
E-mail: [g.iskakova@aues.kz](mailto:g.iskakova@aues.kz)

***Аннотация.** Статья посвящена проблеме повышения эффективности работы ТЭС в общем. Тема статьи является актуальной, так как без электро- и теплоэнергии невозможно представить современное общество. В этой связи возникает вопрос улучшения качества работы ТЭС за счет оптимизации работы отдельных составляющих ТЭС. Важной частью ТЭС являются теплообменники. В статье рассматриваются теплообменники, приводится описание их принципа работы. Приводится тепловой баланс теплообменников, а также приводятся показатели эффективности работы теплообменников. Каждый показатель эффективности работы теплообменника зависит от множества параметров, связанных между собой математическими зависимостями. В статье приводится математическое описание каждого показателя эффективности работы теплообменника, и с помощью программы Matlab Simulink моделируются, приводятся скриншоты собранных моделей. Дается заключение.*

***Ключевые слова:** теплообменник, показатель эффективности, эффективная работа теплообменника, математическое описание, моделирование.*

#### **Введение**

Несмотря на новые методы производства электроэнергии, основную часть вырабатывает теплоэлектростанция (ТЭС). Выработка электроэнергии при помощи ТЭС берет свое начало еще в XIX веке, проблемы по улучшению качества работы и экономии ресурсов остаются актуальными.

Одну из основных частей ТЭС составляет ряд теплообменных аппаратов (теплообменников) (ТО), являющихся их неотъемлемой частью. Улучшение качества работы теплообменников приведет к решению проблемы экономии топлива.

Работа теплообменников определяется протеканием большого комплекса сложных процессов:

- передача выделившегося тепла из топки поверхностям нагрева посредством излучения и конвекции.

- передача тепла от поверхностей нагрева рабочему телу: воде, пароводяной смеси, перегреваемому пару, воздуху.

Эффективная работа теплообменника зависит от многих факторов. В данной статье эффективность работы теплообменников будет связываться с параметрами (термодинамическими показателями), которые будут группироваться по определенным показателям качества работы ТО.

#### **Показатели эффективной работы теплообменников**

Теплообменник – связующее звено, которое передает тепло от одного тела другому за счет процесса теплообмена. Греющая жидкость на входе подается с определенной температурой в теплообменник, также на вход подается и нагреваемая жидкость с температурой ниже чем первая. В результате теплообмена, понижается температура греющей жидкости и повышается температура нагреваемой жидкости. (рисунок 1)

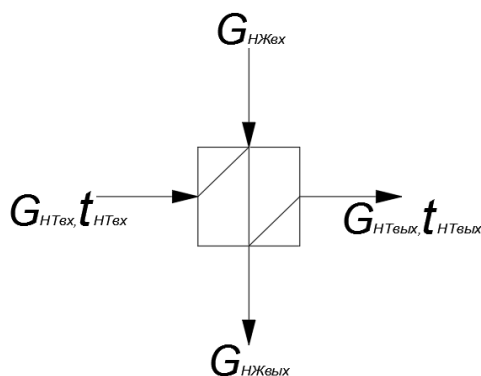


Рисунок 1. Принцип работы теплообменного аппарата

Греющий теплоноситель (НТ) подается на вход (вх) теплообменника с определенной температурой ( $t$ ) и расходом ( $G$ ) для нагревания жидкости (НЖ). За счет процесса теплообмена получаем греющий теплоноситель на выходе с отличной от входной температурой и расходом, температура греющей жидкости понижается, а нагреваемой жидкости повышается.

Оценка эффективности теплообменных аппаратов тесно связано с понятием эффективности теплообменника

$$\varepsilon = q/q_{\max}$$

где  $q$  – фактически переданное количество теплоты;  $q_{\max}$  – максимально возможное количество переданной теплоты.

В случае, если эффективность теплообменника неудовлетворительна, необходимо искать причины потерь тепла. В этом случае показатель эффективности работы теплообменников можно описать с помощью теплового баланса, который можно представить на рисунке 2.

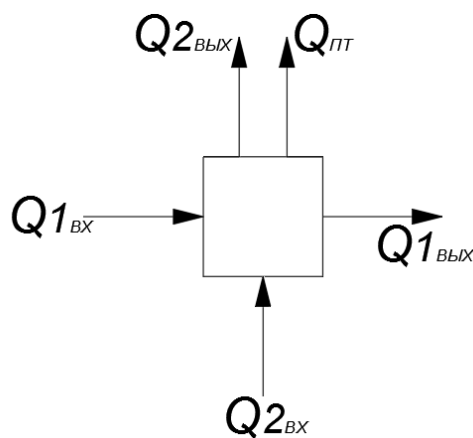


Рисунок 2. Тепловой баланс работы теплообменников

В случае, когда на вход теплообменника подаются два тепловых потока различной температуры, а на выходе получается три тепловых потока (двое из них, это входные тепловые потоки с измененной температурой за счет теплоотдачи, и один поток характеризуется как потеря теплоты) [1].

В соответствии с этим, уравнение теплового баланса для теплообменного аппарата будет иметь вид:

$$Q_{1ВХ} + Q_{2ВХ} = Q_{1ВЫХ} + Q_{2ВЫХ} + Q_{П}$$

$$Q_1 = Q_{1ВХ} + Q_{1ВЫХ}$$

$$Q_2 = Q_{2ВХ} + Q_{2ВЫХ}$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_{П}$$

Тепловую эффективность теплообменного аппарата достаточно полно отражают показатели, такие как величина коэффициента теплопередачи, величина нагрева воды, а также эксергетические показатели [2].

Каждый из этих показателей является сложным параметром и зависит от многих факторов.



Рисунок 3. Показатели эффективности работы теплообменников

Как видно из рисунка 3, эффективность работы теплообменника зависит от многих факторов. Контролировать и управлять этими факторами одновременно очень трудно или невозможно. Но если эти факторы объединить в определенные показатели качества, контроль над процессом упрощается. На рисунке выделены четыре показателя качества: коэффициент теплопередачи, величина недогрева воды, величина давления пара, эксергетические показатели.

Коэффициент теплоотдачи зависит от таких параметров как коэффициент теплоотдачи, толщина стенки поверхности теплообмена, наружный и внутренний диаметры трубы, коэффициент теплопроводности.

Величина недогрева воды зависит от таких параметров, как температура воды на входе и выходе агрегата, расход воды, теплоемкость воды, коэффициент теплопередачи в аппарате, поверхность теплообмена.

Величина давления пара зависит от величины недогрева воды, а также нагрева воды и температуры охлаждения воды на входе.

Эксергетические показатели применяются тогда, когда использование аналитических методов невозможно или нецелесообразно из-за сложности происходящих в аппаратах процессов. Эксергетические показатели зависят от изменения энтальпии и энтропии рабочего тела, температуры окружающей среды, переданного количества теплоты, средней температуры и суммы эксергий потоков теплоносителей на входе и выходе аппарата.

Группировка параметров по показателям качества дает возможность исследовать процесс точнее и рассматривать некоторые параметры в качестве переменных, что позволит исследовать процесс в динамике. Динамические процессы лучше отражают качество системы. Дают возможность прогнозировать поведение системы, выявлять уязвимые стороны и на основе этого улучшать качество системы в целом.

Для рассмотрения показателей качества в динамике в качестве параметров необходимо применять реальные данные с объекта. По поведению системы можно будет построить математическую модель изменения показателя качества в зависимости от изменения параметров во времени. Полученная математическая модель будет отражать закономерность изменения показателя качества.

### Математическое описание показателей качества работы ТО

Современный подход при исследовании процессов, протекающих в теплообменниках, заключается в исследовании по математическим моделям. Применение точных математических моделей дает возможность изучить процессы и прогнозировать поведение процессов при разных отклонениях и возмущениях.

Определение точных математических моделей является сложной задачей. Математическая модель должна отражать все связи и особенности процесса теплообмена. Ниже приведены обзоры статей, в которых исследовался процесс теплообмена и повышение эффективности этого процесса.

Так, например, в статье [3] было исследовано повышение эффективности теплообменников с сохранением более низких общих затрат и энергопотребления. Это было достигнуто с помощью наножидкости (CuO/вода).

В статье [4] были оценены временные и пространственные изменения теплового потока, числа Нуссельта, качества пара, числа конвекции и числа кипения, это показывает, что расчетные локальные числа Нуссельта потока без фазового перехода и с ним близки к предсказанным ранее. Это исследование предполагает, что расширенный обратный метод может быть успешно использован для расчета местного зависящего от времени коэффициента теплопередачи кипящего потока.

Цель работы [5] состоит не в повышении эффективности теплового преобразования, а в представлении тепловой системы в упрощенном, но функциональном виде.

В статье [6] представлен обзор существующих математических моделей, дающих представление об отдельной части котельного агрегата. Автор попытался сгруппировать математические модели по трактам, составляющим котельный агрегат. Сначала приводится математическая модель процесса горения. Затем представлена модель газовоздушного тракта и водяного тракта.

В статье [7] представлены концепции методов согласования данных, которые широко используются в обрабатывающих отраслях. В качестве объекта исследования рассматривается система теплоснабжения. Согласование данных также включает в себя процедуру общего обнаружения, которую необходимо учитывать для получения правильного баланса материалов.

В работе [8] был сделан сравнительный анализ пластинчатого и гофрированного теплообменника. Числа Нуссельта ( $Nu$ ), коэффициент трения, интенсивность турбулентности, степень температурного градиента пластины ( $\Delta T_p$ ) и средняя температуры через пластину ( $T_p, avg$ ) использовались при сравнении двух теплообменников. В результате исследования, показатели пластинчатого теплообменника были выше гофрированного.

В статье [9] представлена новая когенерационная система на основе органического цикла Ренкина и абсорбционного теплового насоса для достижения двойного эффекта повышения выходной мощности и тепловой мощности угольной электростанции. Источник тепла для нагрева сначала направляется в органический цикл Ренкина для выработки энергии, а затем направляется в абсорбционный тепловой насос в качестве движущего источника тепла для рециркуляции отработанного пара паровой турбины. На основе первого и второго закона термодинамики, сосредоточенного на угольной электростанции мощностью 135 МВт, был завершён энергетический и эксергетический анализ традиционной когенерационной системы. Новая когенерационная система по сравнению с традиционной системой когенерации превышает мощность, и тепловая мощность соответственно увеличиваются на 1,47 МВт.

В работе [10] рассматривается регенеративный подогреватель воздуха, который рассчитан на работу с постоянной скоростью, при которой максимальная теплопередача достигается при работе с полной нагрузкой. Скорость теплопередачи в регенеративных подогревателях воздуха определяется различными факторами, такими как материал нагревательных элементов, разница температур между воздухом и дымовыми газами, количество дымовых газов, количество воздуха, проходящего через регенеративные подогреватели воздуха, и скорость его вращения, если считать на всех электростанциях регенеративных подогревателей воздуха. В статье скорость передачи тепла воздуху

сравнивается при различных нагрузках и скоростях, и в этом экспериментальном исследовании найдена оптимальная скорость, при которой происходит максимальная скорость теплопередачи.

Котлоагрегат в работе [11] также условно разбивают на теплообменники (ТО1, ТО2 и ТО3) паровой и газовый тракты котельного агрегата. Границы разбиения определяются общей компоновкой котлоагрегата и его конструктивными параметрами. В ТО1 происходит нагревание воды до температуры кипения, в ТО2 вода превращается в пар, а в ТО3 пар доводится до нужной температуры.

В работах [12] приводятся результаты теплового расчета котла БКЗ 420-140-9 на основании схем парового и газоздушного трактов. Математическая модель котла приведена для однофазных-двухфазных участков как совокупность взаимодействия статических, параметрических и динамических моделей, которая состоит из материального баланса, теплового баланса пароводяного тракта, расхода рабочей среды, теплопередачи и газоздушного тракта.

Показатели качества и их параметры связаны математическими зависимостями [11]:

1. Величина среднего коэффициента теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_H - d_{ВН}}{2\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1),$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи со стороны внутритрубного и межтрубного теплоносителей, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta$  – толщина стенки поверхности теплообмена, м;

$d_H, d_{ВН}$  – наружный и внутренний диаметры трубок поверхности теплообмена, м;

$\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности материала стенки трубок, Вт/(м·К).

2. Величине недогрева воды до температуры насыщения пара:

$$\delta t = \frac{t_{2В} - t_{1В}}{\exp\left(\frac{KF}{G_B c_{рв}} \cdot 10^{-3}\right) - 1} \quad (2),$$

где  $t_{2В}, t_{1В}$  – температура воды на входе на входе и выходе аппарата соответственно, °С;  $G_B$  – расход воды,  $\frac{кг}{с}$ ;

$c_{рв}$  – теплоемкость воды;  $\frac{кДж}{кг \cdot К}$ .

$K$  – коэффициент теплопередачи в аппарате, Вт/(м<sup>2</sup> · К);

$F$  – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>.

3. Величина давления пара однозначно определяется температурой насыщения пара  $t_H$ , соответствующей этому давлению. С учетом величин нагрева и недогрева при заданной температуре охлаждающей воды на входе, температура насыщения определяется по соотношению

$$t_H = t_{1В} + \Delta t_B + \delta t_e \quad (3),$$

где  $\Delta t_B$  – нагрев воды;

$\delta t_e$  – величина недогрева воды.

4. Эксергия потока рабочего тела в дифференциальном виде определяется следующим образом:

$$dE = dH - T_{oc} dS \quad (4),$$

где  $dH, dS$  – изменение энтальпии и энтропии рабочего тела;

$T_{oc}$  – абсолютная температура окружающей среды.

5. Эксергия теплового потока определяется как

$$E_q = \frac{\delta_q \times (T - T_{oc})}{T} - E_0 \quad (5),$$

где  $\delta_q$  – количество теплоты, переданной от одного теплоносителя к другому;  
 $T$  – средняя температура, при которой происходит теплообмен;  
 $E_0$  – эксергия, численно равная эксергии потока рабочего тела при температуре окружающей среды.

б. Эксергетический КПД теплообменного аппарата определяется по выражению:

$$\eta_e = \frac{\sum E_2}{\sum E_1} \quad (6),$$

где  $\sum E_1, \sum E_2$  – сумма эксергий потоков теплоносителей на входе и выходе аппарата.

Математическое представление показателей качества работы теплообменника не описывается дифференциальными уравнениями. Следовательно, на данный момент можно получить значение показателей качества работы теплообменника по фиксированным данным. Такие результаты не дадут полной информации об изменении показателей качества работы теплообменника, но позволят в дальнейшем построить алгоритм исследования эффективной работы теплообменника по показателям качества.

### Моделирование показателей качества работы ТО

Для оценки эффективности теплообменников необходимо создать модель по показателям качества и выявить термодинамические характеристики, наиболее влияющие на эффективность процесса.

Моделирование осуществляется с целью выявления наиболее важных термодинамических параметров процесса, что даст возможность осуществить наиболее оптимальное управление теплообменниками и обнаружение аномалий термодинамических характеристик.

Построение модели эффективности работы теплообменного аппарата была реализована с помощью программы Matlab [12].

Данные для построения моделей показателей эффективности были взяты по паспортным данным котла БКЗ-420-140-7 [13], который расположен на Алматинской ТЭЦ-2 и предназначен для работы на Экибастузском угле для выработки перегретого пара на тепловых электростанциях с теплофикационными турбинами на высокие параметры пара.

Каждый показатель качества работы теплообменника моделировался отдельно. Ниже приведены показатели качества коэффициента теплопередачи, величины недогрева воды и эксергетических показателей.



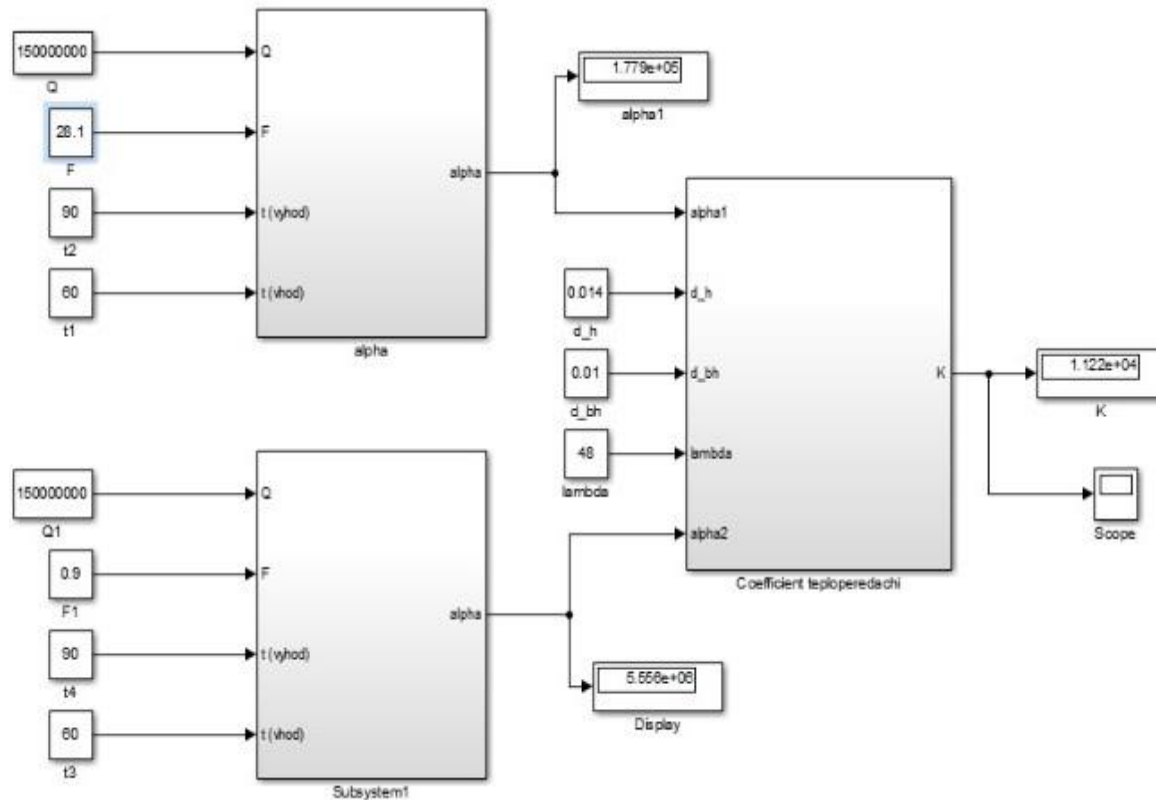


Рисунок 4. Блок расчета коэффициента теплопередачи в среде Simulink

Из рисунка 3 следует, что коэффициент теплопередачи зависит от таких параметров, как коэффициент теплоотдачи, толщина стенки поверхности теплообмена, наружный и внутренний диаметры трубы, коэффициент теплопроводности.

Параметры этого показателя эффективности можно разделить на стационарные, в дальнейшем их можно будет рассматривать как постоянные коэффициенты и коэффициенты, которые могут изменяться от разных условий.

К стационарным параметрам можно отнести данные толщины стенки поверхности теплообмена, наружный и внутренний диаметры трубы. Так как эти параметры отражают конструктивные особенности устройства, изменение этих параметров невозможно.

К коэффициентам с возможностью изменения можно отнести коэффициент теплоотдачи и коэффициент теплопроводности.

Модель коэффициента теплоотдачи строилась по уравнению (1) и состоит из трех блоков. Два блока – это два коэффициента теплоотдачи со стороны внутритрубного и межтрубного теплоносителей. Третий блок является средним коэффициентом теплоотдачи.

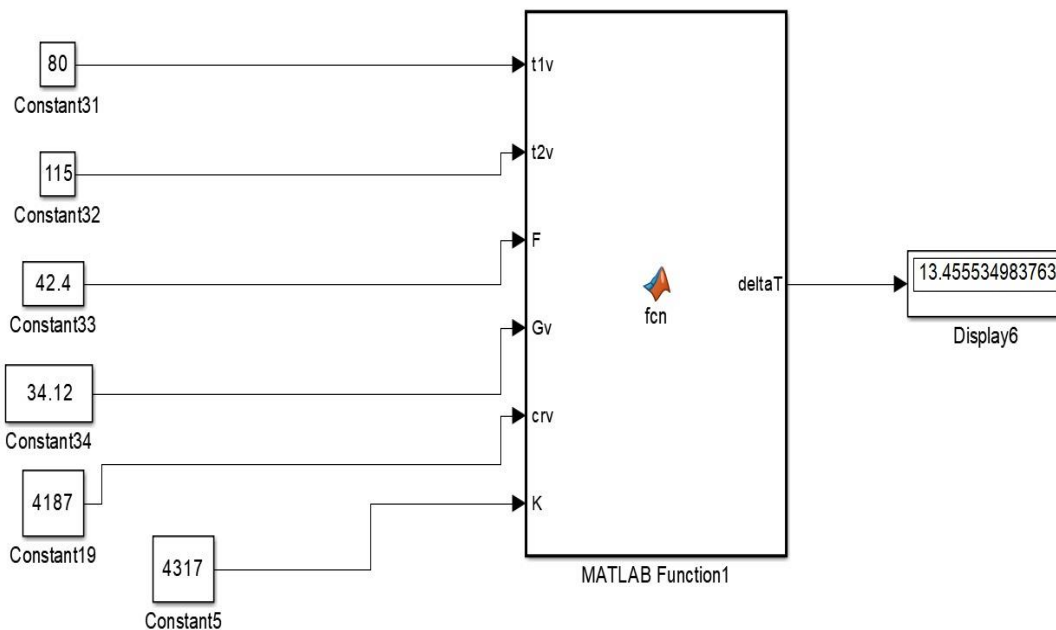


Рисунок 5. Блок расчета показателя величины недогрева воды в среде Simulink

Величина недогрева воды зависит от таких параметров: температура воды на входе и выходе агрегата, расход воды, теплоемкость воды, коэффициент теплопередачи в аппарате, поверхность теплообмена.

К стационарным параметрам этого показателя качества работы теплообменника можно отнести поверхность теплообмена. Этот параметр также отражает конструктивную особенность устройства, изменение этого параметра невозможно.

К коэффициентам с возможностью изменения можно отнести температуру воды на входе и выходе агрегата, расход воды. Такой параметр как теплоемкость воды – также можно отнести к параметру со свойством изменения, так как теплоемкость воды зависит от ее температуры.

Модель недогрева воды строилась по уравнению (2) и реализовывалась в Matlab Simulink с помощью блока Matlab Function:

```

1 function deltaT = fcn(t1v, t2v, F, Gv, crv, K)
2     deltaT = (t2v-t1v) / (exp(K*F / (Gv*crv*1000)) - 1);
3

```

Рисунок 6. Математическое описание расчета показателя – недогрев воды

При моделировании показателя качества энергетических показателей были применены значения изменения энтальпии и энтропии рабочего тела, температуры окружающей среды, переданного количества теплоты, средней температуры и суммы эксергии потоков теплоносителей на входе и выходе аппарата.

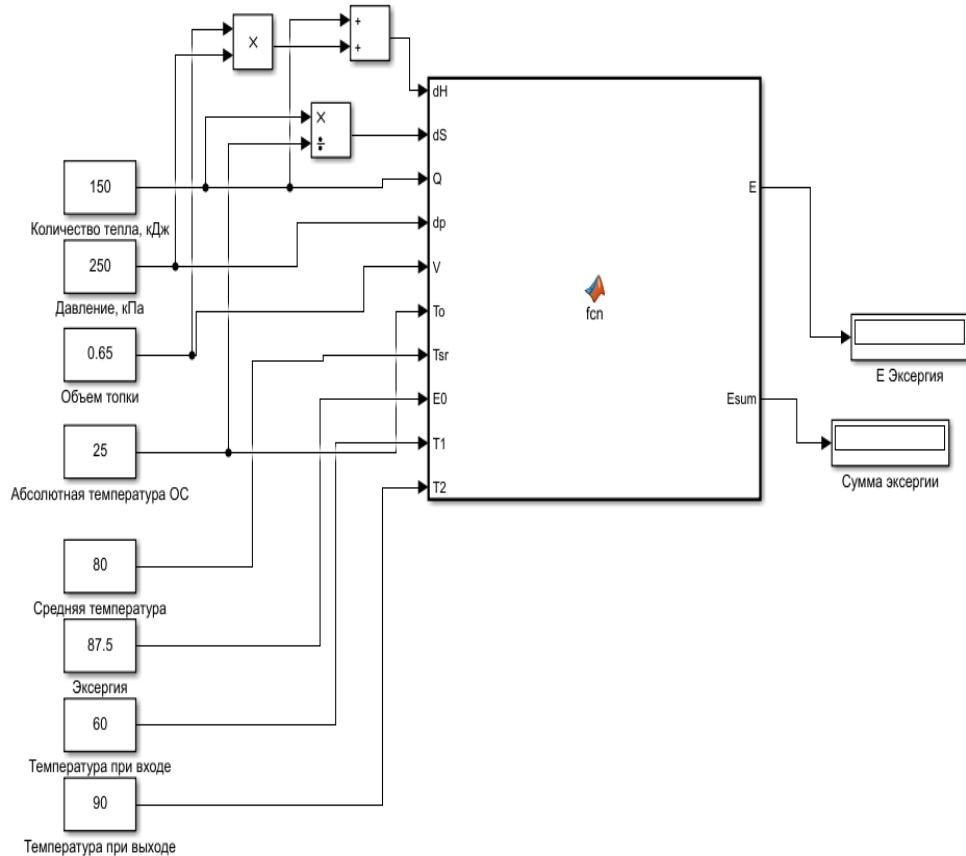


Рисунок 7. Блок расчета эксергетического показателя в среде Simulink

Модель эксергетического показателя строилась так же, реализовывалась в MatlabSimulinkс помощью блока MatlabFunction:

```

Editor - Block: eksergiya2/MATLAB Function*
MATLAB Function*
1 function [dH, dS, E, Esum] = fcn(Q, dp, V, To, Tsr, E0, T1, T2)
2     dS = (Q/To);
3     dH = (Q+dp*V);
4     E = (Q*(Tsr-To)/Tsr-E0);
5     E1 = (Q*(T1-To)/T1-E0);
6     E2 = (Q*(T2-To)/T2-E0);
7     Esum = E1+E2;

```

Рисунок 8. Математическое описание расчета параметра – эксергетические показатели

Все модели показателей качества работы теплообменника были проверены на адекватность, в результате были получены нужные значения показателей качества.

В дальнейшем эти модели будут изменены с учетом изменяемых параметров, то есть собраны в виде дифференциальных уравнений, что даст возможность оценки качества в реальном времени.

### Заключение

Так как теплообменник является важным звеном в работе ТЭС, организация эффективной работы теплообменника является залогом качественной работы ТЭС в целом.

Эффективная работа теплообменников зависит от многих параметров. Определяя связь этих параметров с показателями эффективности, можно получить возможность определить наиболее важные параметры и исследовать их в разных условиях. Что даст возможность выявить наилучшие значения наиболее важных параметров и построить оптимальную систему управления теплообменником в зависимости от условий.

В статье определены наиболее важные показатели качества, влияющие на эффективную работу теплообменника. Это: коэффициент теплопередачи, величина недогрева воды и эксергетические показатели. По математическим выражениям построены модели и проверены на адекватность. Так как математическое описание является статическим, выявить слабые стороны каждого показателя качества не удалось, но дало возможность выявить параметры, которые имеют свойство меняться от некоторых условий во времени. Это дает возможность изменить построенную статическую модель в динамическую и получить переходные характеристики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лепеш Г. В., Лунева С. К. Повышение эффективности теплообменных аппаратов // ТТПС. 2017. №1 (39).
- [2] Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю., Ниренштейн М.А. Теплообменные аппараты технологических подсистем паротурбинных установок: энциклопедический справочник под общ. ред. Ю.М. Бродова. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 401 с.
- [3] Said Z., Rahman S.M.A., Assad M.E., Alami A.H. Heat transfer enhancement and life cycle analysis of a Shell-and-Tube Heat Exchanger using stable CuO/water nanofluid. Sustainable energy technologies and assessments, 2019, vol. 31, pp. 306-317, DOI: 10.1016/j.seta.2018.12.020
- [4] Karami M, Farahani SD, Kowsary F, Mosavi A. Experimental estimation of temporal and spatial resolution of coefficient of heat transfer in a channel using inverse heat transfer method. ENGINEERING APPLICATIONS OF COMPUTATIONAL FLUID MECHANICS, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 271-283, DOI: 10.1080/19942060.2020.1712261
- [5] Kumar R. Thermodynamic Modeling and Validation of a 210-MW Capacity Coal-Fired Power Plant. IRANIAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY-TRANSACTIONS OF MECHANICAL ENGINEERING, 2016, vol. 4, no. 3, pp. 233-242, DOI: 10.1007/s40997-016-0025-5
- [6] Абжанова Л.К., Муханов Б. К., Еренчинов К. К., Базил Г. Д., Анализ математических моделей котлоагрегатов как объектов управления. Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан, 2016. № 5. С. 205-213.
- [7] Yerenchinov K. K., Omirbekova Zh., Abzhanova L., Toktassynova N. Development of data monitoring and reconciliation system of heat supply. Вестник Алматинского университета энергетики и связи, 2016. №3(34). С. 4-11.
- [8] Salman AZ, Mohammad SI, Suvash CS. Heat transfer enhancement of modified flat plate heat exchanger. Applied Thermal Engineering, 2021, vol. 186, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116533
- [9] Zhang H., Liu Y., Liu X., Duan Ch. Energy and exergy analysis of a new cogeneration system based on an organic Rankine cycle and absorption heat pump in the coal-fired power plant. Energy Conversion and Management, 2020, vol. 223, doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113293.
- [10] Subramaniyan J., Venkatachalapathy S. Heat transfer studies at different speeds and loads of regenerative air preheater in thermal power plant. Thermal Science and Engineering Progress, 2021, vol 22, doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100814
- [11] Беднаржевский В. С. Математическое моделирование и компьютерные технологии в задачах проектирования энергетических паровых котлов // Вычислительные технологии. – 2002. – Т. 7, № 6. – С. 13-23.
- [12] Нгуен Х. Д. Моделирование теплоэнергетических установок на основе теории дифференциально-алгебраических уравнений в частных производных. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Иркутск, 2014.
- [13] Чабаева Ю. А., Булеков А. П., Сажин В. Б., Попов И. А., Беднякова А. А. Критерии эффективности теплообменников Успехи в химии и химической технологии. 2012. №5 (134).
- [14] Кудинов Ю.И., Теория автоматического управления (с использованием MATLAB-SIMULINK): учеб. пособие. СПб. 2016. 256 с.
- [15] Доступны на: <http://akmz.net/production/steam/coal/bkz-420-140> (по состоянию на 4 февраля 2021).

[16] Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryvplasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing] *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, 2008, no.11, pp. 54-57.

## REFERENCES

[1] Lepesh G. V., Luneva S. K. Povysheniye effektivnosti teploobmennyykh apparatov [Improving the efficiency of heat exchangers] // *TTPS*. 2017. №1 (39).

[2] Brodov Yu.M., Aronson K.E., Ryabchikov A.Yu., Nirenshteyn M.A. Teploobmennyye apparaty tekhnologicheskikh podsistem paroturbinnyykh ustanovok [Heat exchangers of technological subsystems of steam turbine plants]: entsiklopedicheskiy spravochnik pod obshch. red. Yu.M. Brodova. Ekaterinburg: UrFU. 2013. p.401.

[3] Said Z., Rahman S.M.A., Assad M.E., Alami A.H. Heat transfer enhancement and life cycle analysis of a Shell-and-Tube Heat Exchanger using stable CuO/water nanofluid. *Sustainable energy technologies and assessments*. 2019. vol. 31. pp. 306-317. DOI: 10.1016/j.seta.2018.12.020

[4] Karami M. Farahani S.D., Kowsary F., Mosavi A. Experimental estimation of temporal and spatial resolution of coefficient of heat transfer in a channel using inverse heat transfer method. *ENGINEERING APPLICATIONS OF COMPUTATIONAL FLUID MECHANICS*. 2020. vol. 14. no. 1. pp. 271-283. DOI: 10.1080/19942060.2020.1712261

[5] Kumar R. Thermodynamic Modeling and Validation of a 210-MW Capacity Coal-Fired Power Plant. *IRANIAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY-TRANSACTIONS OF MECHANICAL ENGINEERING*. 2016. vol. 4. no. 3. pp. 233-242. DOI: 10.1007/s40997-016-0025-5

[6] Abzhanova L.K., Mukhanov B. K., Erenchinov K. K., Bazil G. D., Analiz matematicheskikh modeley kotloagregatov kak obyektov upravleniya [Analysis of mathematical models of boiler units as control objects]. *Vestnik Natsionalnoy akademii nauk Respubliki Kazakhstan*. 2016. № 5. pp. 205-213.

[7] Yerenchinov K. K., Omirbekova Zh., Abzhanova L., Toktassynova N. Development of data monitoring and reconciliation system of heat supply. *Vestnik Almatinskogo universiteta energetiki i svyazi*. 2016. №3(34). C. 4-11.

[8] Salman A.Z., Mohammad S.I., Suvash C.S. Heat transfer enhancement of modified flat plate heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*. 2021. vol. 186. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116533

[9] Zhang H., Liu Y., Liu X., Duan Ch. Energy and exergy analysis of a new cogeneration system based on an organic Rankine cycle and absorption heat pump in the coal-fired power plant. *Energy Conversion and Management*. 2020. vol. 223. doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113293.

[10] Subramaniyan J., Venkatachalapathy S. Heat transfer studies at different speeds and loads of regenerative air preheater in thermal power plant. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2021. vol 22. doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100814

[11] Bednarzhevskiy V. S. Matematicheskoye modelirovaniye i kompyuternyye tekhnologii v zadachakh proyektirovaniya energeticheskikh parovykh kotlov [Mathematical modeling and computer technologies in the design problems of power steam boilers] // *Vychislitelnyye tekhnologii*, 2002., vol. 7. no 6. pp. 13-23.

[12] Nguyen Kh. D. Modelirovaniye teploenergeticheskikh ustanovok na osnove teorii differentsialno-algebraicheskikh uravneniy v chastnykh proizvodnykh [Modeling of heat power plants based on the theory of differential-algebraic partial differential equations]. *Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. – Irkutsk*. 2014.

[13] Chabayeva Yu. A., Bulekov A. P., Sazhin V. B., Popov I. A., Bednyakova A. A. Kriterii effektivnosti teploobmennikov [Heat exchanger efficiency criteria]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*. 2012. №5 (134).

[14] Kudinov Yu.I. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya (s ispolzovaniyem MATLAB-SIMULINK) [Automatic control theory (using MATLAB-SIMULINK)]: ucheb.posobiye. SPb. 2016. 256s.

[15] Available at: <http://akmz.net/production/steam/coal/bkz-420-140> (accessed 4 February 2021).

[16] Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryvplasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing] *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, 2008, no.11, pp. 54-57.

## ЖЭС ЖЫЛУАЛМАСТЫРҒЫШТАРЫНЫҢ ТИІМДІ ЖҰМЫС КӨРСЕТКІШТЕРІ

Б.К. Муханов, Г.Т. Искакова\*

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ, Алматы,  
Қазақстан  
E-mail: [g.iskakova@aes.kz](mailto:g.iskakova@aes.kz)

*Аңдатпа.* Мақала жалпы ЖЭС жұмысының тиімділігін арттыру мәселесіне арналған. Мақаланың тақырыбы өзекті, өйткені электр және жылу энергиясының қазіргі қоғамды елестету мүмкін емес. Осыған байланысты ЖЭС-тің жекелеген бөліктерінің жұмысын оңтайландыру арқылы ЖЭС жұмысының сапасын арттыру мәселесі туындайды. Оның маңызды бөліктерінің бірі – жылуалмастырғыштар болып табылады. Мақалада жылуалмастырғыштар қарастырылған, олардың жұмыс істеу принциптеріне сипаттама келтірілген. Жылу алмастырғыштардың жылулық балансы, сондай-ақ жылу алмастырғыштардың жұмыс тиімділігінің көрсеткіштері келтірілген. Жылуалмастырғыш жұмысының әрбір тиімділік көрсеткіші – өзара математикалық тәуелділіктермен байланысқан көптеген параметрлерге тәуелді. Мақалада жылуалмастырғыштың жұмыс тиімділігінің әрбір көрсеткішіне математикалық сипаттама келтіріледі және Matlab Simulink бағдарламасында жиналады, сәйкес скриндер көрсетіледі. Қорытынды жасалады.

*Түйін сөздер:* жылуалмастырғыш, тиімділік көрсеткіші, жылуалмастырғыштың тиімді жұмысы, математикалық өрнектелу, моделдеу.

## INDICATORS OF EFFECTIVE OPERATION OF HEAT EXCHANGERS AT TPPS

Б.К. Mukhanov, G.T. Iskakova\*

Non-profit JSC “Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after  
Gumarbek Daukeyev”, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [g.iskakova@aes.kz](mailto:g.iskakova@aes.kz)

*Abstract.* The problem of improving the efficiency of the Thermal Power Plant is discussed in the article. The topic of the article is relevant, since it is impossible to imagine a modern society without electric and thermal energy. In this regard, the issue of improving the quality of the Thermal Power Plant by optimizing the operation of its individual components arises. Heat exchangers are an important part of the Thermal Power Plant. Heat exchangers are discussed in the article. A description of their operating principle is given. The heat balance of the heat exchangers, as well as the performance indicators of the heat exchangers is presented. Each indicator of the efficiency of the heat exchanger depends on many parameters, interconnected by mathematical relationships. In the article, a mathematical description of each indicator of the efficiency of the heat exchanger is given. The screenshots of the assembled models are modeled using the Matlab Simulink program. A conclusion is given.

*Key words:* heat exchanger, efficiency indicator, efficient operation of the heat exchanger, mathematical description, modeling.



## Басылымның шығыс деректері

Мерзімді баспасөз басылымының атауы	«Алматы энергетика және байланыс университетінің Хабаршысы» ғылыми-техникалық журналы
Мерзімді баспасөз басылымының меншік иесі	«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы
Бас редактор	Профессор, т.ғ.к., В.В. Стояк
Қайта есепке қою туралы куәліктің нөмірі мен күні және берген органның атауы	№ KZ14VPY00024997, күні 17.07.2020, Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігі
Мерзімділігі	Жылына 4 рет (тоқсан сайын)
Мерзімді баспасөз басылымының реттік нөмірі және жарыққа шыққан күні	Жалпы нөмір 53, 2-басылым, 2021 жылғы 30 маусым
Басылым индексі	74108
Басылым таралымы	200 дана
Баға	Келісілген
Баспахана атауы, оның мекен-жайы	«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ баспаханасы, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1 үй, А120 каб.
Редакцияның мекен-жайы	050013, Алматы қ., «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, Байтұрсынұлы к-сі, 126/1 үй, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: <a href="mailto:vestnik@aes.kz">vestnik@aes.kz</a>

## Выходные данные

Название периодического печатного издания	Научно-технический журнал «Вестник Алматинского университета энергетика и связи»
Собственник периодического печатного издания	Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетика и связи имени Гумарбека Даукеева»
Главный редактор	Профессор, к.т.н., Стояк В.В.
Номер и дата свидетельства о постановке на учет и наименование издавшего органа	№ KZ14VPY00024997 от 17.07.2020 Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан
Периодичность	4 раза в год (ежеквартально)
Порядковый номер и дата выхода в свет периодического печатного издания	Валовый номер 53, выпуск 2, 30 июня 2021
Подписной индекс	74108
Тираж выпуска	200 экз.
Цена	Договорная
Наименование типографии, ее адрес	Типография НАО «Алматинский университет энергетика и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 120
Адрес редакции	050013, г. Алматы, НАО «Алматинский университет энергетика и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: <a href="mailto:vestnik@aes.kz">vestnik@aes.kz</a>

## Issue output

Name of the periodical printed publication	Scientific and technical journal "Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications"
Owner of the periodical printed publication	Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev"
Chief Editor	Professor, candidate of technical sciences Stoyak V.V.
Number and date of the registration certificate and the name of the issuing authority	№ KZ14VPY00024997 from 17.07.2020 Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan
Periodicity	4 times a year (quarterly)
Serial number and date of publication of a periodical printed publication	Number 53, edition 2, June 30, 2021
Subscription index	74108
Circulation of the issue	200 copies
Price	Negotiable
The name of the printing house, its address	Printing house of Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev", 126/1 Baitursynuly str., office A 120
Editorial office address	050013, Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev", A 224, tel.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: <a href="mailto:vestnik@aes.kz">vestnik@aes.kz</a>