

АЛГОРИТМ ПОДБОРА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ТИПА ТРУБА В ТРУБЕ

*Рощупкин Николай Сергеевич**студент**Липецкий Государственный Технический Университет**г. Липецк**Суслова Светлана Александровна**кандидат технических наук, доцент**Липецкий Государственный Технический Университет**г. Липецк*

ALGORITHM FOR SELECTING HEAT EXCHANGERS OF PIPE-IN-PIPE TYPE

*Roshchupkin Nikolay Sergeevich**student**Lipetsk State Technical University,**Lipetsk**Suslova Svetlana Alexandrovna**candidate of technical sciences, associate professor**Lipetsk State Technical University,**Lipetsk*

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2020.2.63.362

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается алгоритм подбора теплообменного аппарата и расчёта поверхности теплообмена, с используя программу на языке Pascal ABC.NET.

ABSTRACT

The article discusses an algorithm for selecting a heat exchanger and calculating the heat exchange surface using a program in the Pascal ABC.NET language.

Ключевые слова: теплообменные аппараты труба в трубе, поверхность теплообмена, алгоритм подбора теплообменных аппаратов, теплопередача.

Key words: pipe-in-pipe heat exchangers, heat exchange surface, heat exchanger selection algorithm, heat transfer.

Большинство химических процессов на современных химических предприятиях, в частности в пищевой промышленности, требуют поддержания определенной температуры среды. Для этих целей используют теплообменные аппараты. Одним из часто используемых в промышленности теплообменных аппаратов является теплообменник типа труба в трубе.

Для реализации подбора данного типа теплообменного аппарата была разработана и реализована программа для расчёта и подбора теплообменного аппарата типа труба в трубе на базе языка программирования Pascal ABC.NET.

На первом шаге алгоритма вычисляется тепловая нагрузка Q на аппарат:

$$Q = G_2 * c_2 * (t_2^k - t_2^h) = G_1 * c_1 * (t_1^h - t_1^k), \quad (1)$$

где t_1^h , t_1^k , t_2^h , t_2^k – начальные и конечные температуры горячего и холодного теплоносителя соответственно, °С (К); G_1 , G_2 – расход горячего и холодного теплоносителя, кг/с; c_1 , c_2 – теплоемкость горячего и холодного теплоносителя.

Далее рассчитывается один из параметров уравнения теплового баланса. В зависимости от условий задания применяем одну из следующих формул:

$$G_1 = \frac{Q}{c_1 * (t_1^h - t_1^k)}, \quad (2)$$

$$t_1^k = t_1^h - \frac{Q}{G_1 * c_1}, \quad (3)$$

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 * (t_2^k - t_2^h)}, \quad (4)$$

$$t_2^k = t_2^h + \frac{Q}{G_2 * c_2}, \quad (5)$$

Так как теплообменник типа «труба-в-трубе» противоточного типа, то среднее логарифмическую разность температур в аппарате $\Delta t_{\text{ср.лог.}}$ вычисляем на следующем шаге:

$$t_1^k \rightarrow t_2^k, t_2^h \leftarrow t_1^h$$

$$\Delta t_{\text{ср.лог.}} = \frac{(t_1^k - t_2^h) - (t_1^h - t_2^k)}{\ln \frac{(t_1^k - t_2^h)}{(t_1^h - t_2^k)}}. \quad (6)$$

На четвертом этапе алгоритма происходит ориентировочный выбор теплообменника. Значение критерия Рейнольдса принимается равным $Re_{1\text{оп}} = 25000$, чтобы тот соответствовал развитому турбулентному режиму в трубах. Для труб $d_n = 25 \times 2$ мм для такого режима течения теплоносителя в теплообменнике

необходимое число труб на один ход рассчитывается по формуле:

$$\frac{n}{z} = \frac{4 * G_1}{\pi * d * Re_{op} * \mu_1}; \quad (7)$$

где μ_1 – динамическая вязкость горячего теплоносителя, Па*с; d – внутренний диаметр трубы, мм.

В зависимости от вида теплообмена выбирается значение коэффициента теплопередачи [1, с.172].

Следующий шаг алгоритма позволяет рассчитать ориентировочное значение поверхности теплообмена F_{op} :

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} * \Delta t_{cp,log}}. \quad (8)$$

Согласно основным характеристикам теплообменников ТН И ТК и холодильников ХН И ХК с трубами 25×2 мм [1, с.215] выбираем наиболее подходящие варианты следующих значений:

- площадь сечения потока (S_M в м²) в межтрубном пространстве;
- μ_2 – динамическая вязкость холодного теплоносителя, Па*с;
- λ_2 – теплопроводность холодного теплоносителя, $\frac{Вт}{м*К}$.

Пятый этап алгоритма – это уточненный расчет поверхности теплопередачи. Для горячего теплоносителя рассчитываются коэффициенты Рейнольдса (Re_1) и Прандтля (Pr_1) по формулам:

$$Re_1 = \frac{4 * G_1}{\pi * d * \frac{n}{z} * \mu_1}; \quad (9)$$

$$Pr_1 = \frac{\mu_1 * c_1}{\lambda_1}; \quad (10)$$

λ_1 – теплопроводность горячего теплоносителя, $\frac{Вт}{м*К}$;

$\frac{n}{z}$ – стандартное число труб на один ход, единиц.

Определяются коэффициент теплоотдачи к жидкости в трубном пространстве:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{d_{вн}} * 0,023 * Re_1^{0,8} * Pr_1^{0,4}, \quad (11)$$

где $d_{вн}$ – внешний диаметр трубы (мм) и коэффициент теплоотдачи к жидкости в межтрубном пространстве:

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{d_n} * 0,023 * Re_2^{0,8} * Pr_2^{0,4}; \quad (14)$$

где d_n – наружный диаметр трубы, мм.

Далее рассчитывается сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{r_{загр_1}} + \frac{1}{r_{загр_2}}, \quad (15)$$

где $r_{загр_1}, r_{загр_2}$ – термических сопротивлений загрязнений, $\frac{м^2*К}{Вт}$.

Трубы чаще всего выполнены из нержавеющей стали, теплопроводность которой $\lambda_{ст} = 17,5 \frac{Вт}{м*К}$. Определяем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (16)$$

где δ – толщина стенки трубы, мм.

Необходимая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{cp,log} * K}. \quad (17)$$

На заключительном этапе на основании рассчитанных значений подбираем типовой теплообменный аппарат по площади номинальной поверхности теплообмена $F_{табл}$ [1, с.215] таким образом, чтобы площадь номинальной поверхности была больше (либо равна) необходимой поверхности теплообмена.

Запас поверхности теплообмена рассчитывается по формуле:

$$\Delta = \frac{(F_{табл} - F) * 100}{F}; \quad (18)$$

где $F_{табл}$ – номинальная поверхность теплообмена, м².

Подбор теплообменных аппаратов осуществляется методом перебора исходя из основных размерных характеристик стандартных аппаратов.

Запас поверхности теплообмена не должен быть ниже необходимого. Чаще всего это значение соответствует 15-20 %, однако может быть выше или ниже в зависимости от требований заказчика, в связи с тем, что при увеличении площади теплообмена возрастает и цена теплообменного аппарата.

На основании разработанного алгоритма составлена программа на языке Pascal ABC.NET, автоматизирующая процесс расчёта поверхности теплообмена и подбора типового теплообменного аппарата. На рисунке 1 представлен фрагмент программы автоматизированного расчёта поверхности теплообмена и подбора типового теплообменного аппарата.

```

program ориентировочный_расчёт_поверхности_теплообмена
var G_1,G_2, t_1n, t_1k, t_2n, t_2k,t_срлог, c_1, c_2,  $\mu_1$ , Q, K_op, F_op, xop, o:real;
var  $\mu_2$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , Re_1, Re_2, S_M, Pr_1, Pr_2,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , K,  $\Delta$ несох,г_загр,  $\Delta$ , F, F_табл, x, a:real;
var n:integer;
const Re_lop = 25000;
const  $\lambda_{ст}$  = 17.5;
const d = 0.021;
const dn = 0.025;
const  $\delta_1$  = 0.002;
begin
  writeln ('Условие расчёта теплообмена: 1 - ориентировочный расчёт поверхности теплообмена при неизвестном расходе горячего
  теплоносителя, 2 - ориентировочный расчёт поверхности теплообмена при неизвестной температуре горячего теплоносителя,
  3 - ориентировочный расчёт поверхности теплообмена при неизвестном расходе холодного теплоносителя, 4 - ориентировочный
  расчёт поверхности теплообмена при неизвестном расходе горячего теплоносителя');
  readln (n);
  case n of
    1 : begin
      writeln ('ориентировочный расчёт поверхности теплообмена при неизвестном расходе горячего теплоносителя');
      writeln ('Значение расхода холодного теплоносителя в кг/с ');
      readln (G_2);
      writeln ('Значение начальной температуры холодного теплоносителя =');
      readln (t_2n);
      writeln ('Значение конечной температуры холодного теплоносителя =');
      readln (t_2k);
      writeln ('Значение теплопроводности горячего теплоносителя в Дж/(кг*К)=');
      readln (c_2);
      Q := G_2*c_2*(t_2k-t_2n);
      writeln ('Тепловая нагрузка =',Q,'Вт');
      writeln ('Значение начальной температуры горячего теплоносителя =');
      readln (t_1n);
      writeln ('Значение конечной температуры горячего теплоносителя =');
      readln (t_1k);
      writeln ('Значение теплопроводности горячего теплоносителя в Дж/(кг*К)=');
      readln (c_1);
      G_1 := Q/(c_1*(t_1n-t_1k));
      writeln ('Расход горячего теплоносителя =',G_1,'кг/с');
      t_сргор := ((t_1k-t_2n)-(t_1n-t_2k))/ln((t_1k-t_2n)/(t_1n-t_2k));
      writeln (' среднелогарифмическая разность температур =',t_срлог,'К');
      writeln ('Значение коэффициент динамической вязкости горячего теплоносителя в Па*с =');
    3: begin
      writeln ('ориентировочный расчёт поверхности теплообмена при неизвестном расходе холодного теплоносителя');
      writeln ('Значение расхода холодного теплоносителя в кг/с ');
      readln (G_1);
      writeln ('Значение начальной температуры холодного теплоносителя =');
      readln (t_1n);
      writeln ('Значение конечной температуры холодного теплоносителя =');
      readln (t_1k);
      writeln ('Значение теплопроводности холодного теплоносителя в Дж/(кг*К)=');
      readln (c_1);
      Q := G_1*c_1*(t_1n-t_1k);
      writeln ('Тепловая нагрузка =',Q,'Вт');
      writeln ('Значение начальной температуры горячего теплоносителя =');
      readln (t_2n);
      writeln ('Значение конечной температуры горячего теплоносителя =');
      readln (t_2k);
      writeln ('Значение теплопроводности горячего теплоносителя в Дж/(кг*К)=');
      readln (c_2);
      G_2 := Q/(c_2*(t_2k-t_2n));
      writeln ('Расход горячего теплоносителя =',G_2,'кг/с');
      t_срлог := ((t_1k-t_2n)-(t_1n-t_2k))/ln((t_1k-t_2n)/(t_1n-t_2k));
      writeln (' среднелогарифмическая разность температур =',t_срлог,'К');
      writeln ('Значение коэффициент динамической вязкости горячего теплоносителя в Па*с =');
      readln ( $\mu_1$ );
      xop:= (4*G_1)/(pi*d*Re_lop* $\mu_1$ );
      writeln ('Ориентировочное число труб на один ход =',xop);
      writeln ('ориентировочный коэффициент теплопередачи =');
      readln (K_op);
      F_op:=Q/(t_срлог*K_op);
      writeln ('Ориентировочное значение поверхности теплообмена =',F_op, 'м^2');
    end;
    4: begin
      writeln ('ориентировочный расчёт поверхности теплообмена при неизвестном расходе горячего теплоносителя');
      writeln ('Значение расхода холодного теплоносителя в кг/с ');
      readln (G_1);
      writeln ('Значение начальной температуры холодного теплоносителя =');
      readln (t_1n);
      writeln ('Значение конечной температуры холодного теплоносителя =');
      readln (t_1k);
    end;
  end;

```

```

writeln ('Значение теплопроводности холодного теплоносителя в Дж/(кг*К)=');
readln (c_1);
Q := G_1*c_1*(t_1n-t_1k);
writeln ('Тепловая нагрузка =' ,Q, 'Вт');
writeln ('Значение начальной температуры горячего теплоносителя =' );
readln (t_2n);
writeln ('Значение конечной температуры горячего теплоносителя =' );
readln (t_2k);
writeln ('Значение теплопроводности горячего теплоносителя в Дж/(кг*К)=');
readln (c_2);
t_2k := Q/(c_2*G_2)+t_2n;
writeln ('Расход горячего теплоносителя =' ,G_1, 'кг/с');
t_сргор := ((t_1k-t_2n)-(t_1n-t_2k))/ln((t_1k-t_2n)/(t_1n-t_2k));
writeln (' среднелогарифмическая разность температур =' ,t_сргор, 'К');
writeln ('Значение коэффициент динамической вязкости горячего теплоносителя в Па*с =' );
readln (μ_1);
xop:= (4*G_1)/(pi*d*Re_1op*μ_1);
writeln ('Ориентировочное число труб на один ход =' ,xop);
writeln ('Ориентировочный коэффициент теплопередачи =' );
readln (K_op);
F_op:=Q/(t_сргор*K_op);
writeln ('Ориентировочное значение поверхности теплообмена =' ,F_op, 'м^2');
end;
end;
repeat

writeln ('Число труб на ход =' );
readln (x);
Re_1 := (4*G_1)/(pi*d*μ_1*x);
writeln ('Коэффициент Рейнольдса для горячего теплоносителя =' ,Re_1);
writeln ('Значение теплоемкости горячего теплоносителя в Вт/(м^2*К) =' );
readln (λ_1);
Pr_1:=(μ_1*c_1)/λ_1;
writeln ('Коэффициент Прандтля для горячего теплоносителя =' ,Pr_1);
α1 := λ_1/d * 0.023 * exp(0.8*LN(Re_1)) * exp(0.4*LN(Pr_1));
writeln ('Коэффициент теплоотдачи к жидкости в межтрубном пространстве =' ,α1, 'Вт/(м^2*К)');
writeln ('Площадь сечения потока в межтрубном пространстве между перегородками в м^2 =' );
readln (S_M);

writeln ('Значение динамической вязкости холодного теплоносителя в Па*с =' );
readln (μ_2);
Re_2 := (d*G_2/(S_M*μ_2));
writeln ('Коэффициент Рейнольдса для холодного теплоносителя =' ,Re_2);
writeln ('Значение теплоемкости холодного теплоносителя в Вт/(м^2*К) =' );
readln (λ_2);
Pr_2:=(μ_2*c_2)/λ_2;
writeln ('Коэффициент Прандтля для холодного теплоносителя =' ,Pr_2);
α2 :=λ_2/dn *0.023* exp(0.8*LN(Re_2)) * exp(0.4*LN(Pr_2));
writeln ('Коэффициент теплоотдачи к жидкости в межтрубном пространстве =' ,α2, 'Вт/(м^2*К)');
writeln ('термические сопротивления загрязнений =' );
readln (r_загр);
a:= δl/λ_ст+1/r_загр+1/r_загр;
writeln ('Сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений =' ,a, 'Вт/(м^2*К)');
K:= 1/(1/α1+a+1/α2);
writeln ('Коэффициент теплопередачи =' ,K, 'Вт/(м^2*К)');
F:= Q/(t_сргор*K);
writeln ('Требуемая поверхность теплообмена =' ,F, 'м^2');
repeat
writeln ('Табличное значение площади теплообмена в м^2 =' );
readln (F_табл);
Δ:=(F_табл*F)*100/F;
writeln ('Запас поверхности теплообмена =' ,Δ, '%');
writeln ('Необходимое значение запаса поверхности теплообмена в м^2 =' );
readln (Δнеобх);
if Δнеобх <= Δ then
writeln('Запас поверхности теплообмена ' ,Δ, ' удовлетворяет условию')
else writeln('Запас поверхности теплообмена ' ,Δ, ' не удовлетворяет условию')
until Δнеобх <= Δ;
writeln ('Условие расчёта теплообмена: 1 - выбрать другие характеристики теплообменника, 2 - завершить расчёт');
readln (o);
until o=2;
end.

```

Рисунок 1 – Фрагмент программы автоматизированного подбора теплообменного аппарата

В результате выполнения программы получены следующие результаты, представленные на рисунке 2.

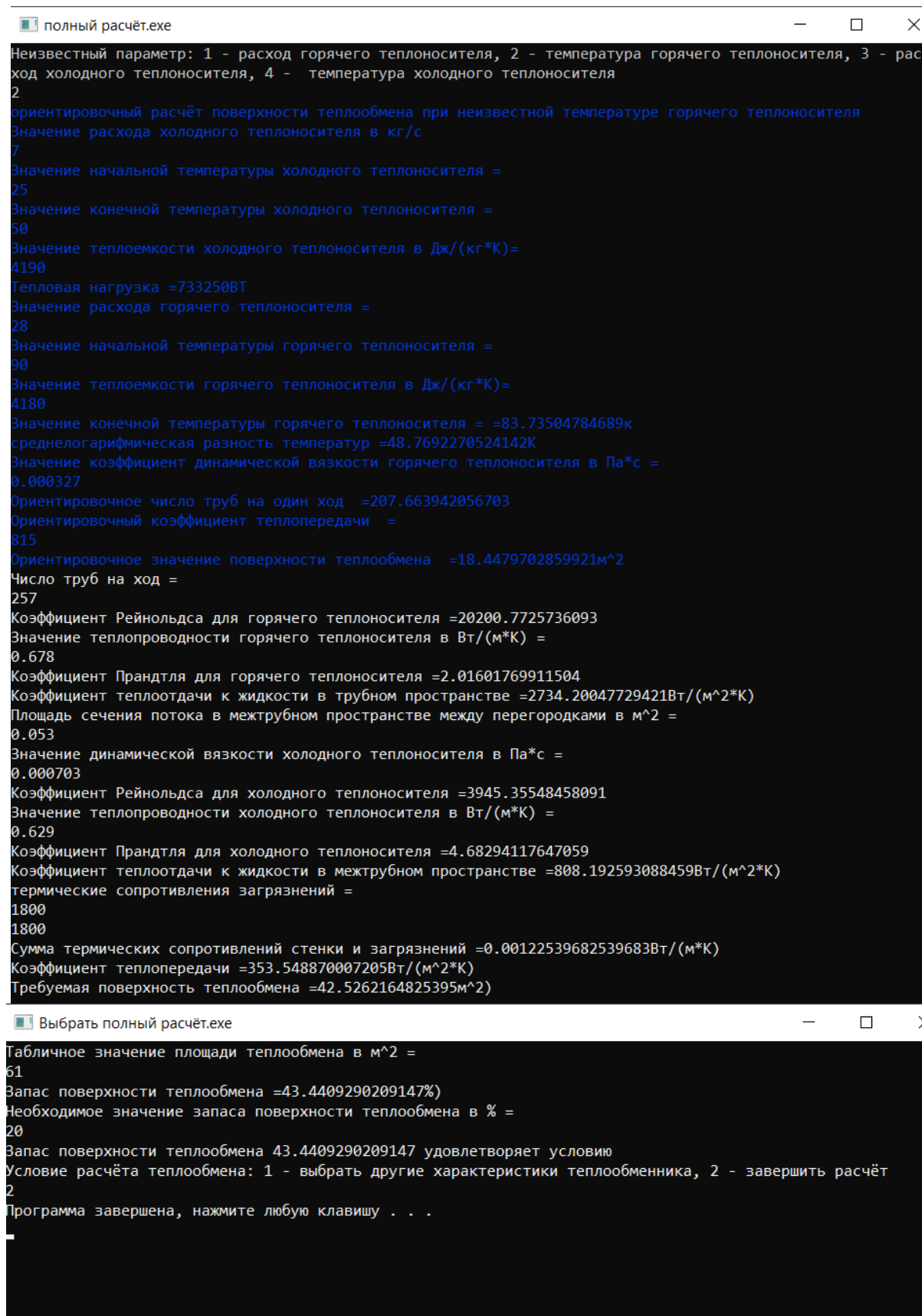


Рисунок 2 – Результат расчёта необходимой площади теплообмена и подбора типового теплообменного аппарата

По результатам расчёта необходимая площадь теплообмена составляет 42,54 м², а подобранная площадь типового теплообменного аппарата равна 61 м², запас поверхности теплообмена составил

43,44%, что соответствует необходимому значению запаса поверхности теплообмена по заданию.

Из выше указанного следует, что разработанный алгоритм значительно упрощает

расчёт поверхности теплообмена и подбор типовых теплообменных аппаратов с заданным значением запаса поверхности теплообмена.

Список литературы

Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов/Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1987. - 576 с., ил.

УДК 621.181

К ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Усиков Николай Васильевич,

кандидат технических наук,

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,

г. Новочеркасск

Дьяконов Евгений Михайлович

кандидат технических наук, доцент,

проректор, зав. кафедрой ТЭС и Т

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,

г. Новочеркасск

TO THE HISTORY OF DEVELOPMENT OF METHODS FUEL QUALITY CONTROL

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2020.2.63.359

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены приборы для измерения элементного состава уходящих газов котельных установок в их историческом развитии, методики теплотехнических расчетов сжигания топлива.

ABSTRACT

Devices for measuring the elemental composition of flue gases from boiler plants in their historical development, methods of heat engineering calculations of fuel combustion are considered.

Ключевые слова: паровой котел, газовый анализ, измерительные приборы, расчетные формулы для определения коэффициента избытка воздуха.

Key words: steam boiler, gas analysis, measuring instruments, calculation formulas for determining the excess air ratio.

Потребление котельными установками органического топлива занимает значительное место в структуре топливно-энергетического баланса страны, поэтому его экономия при эксплуатации дает существенный экономический эффект. К числу важнейших мероприятий по повышению эффективности относится постоянный контроль состояния котельного оборудования. Для правильной эксплуатации необходимо постоянно знать, насколько правильно и экономично работает котел, знать, почему котел работает именно так, с такой величиной $\eta_{ка}^{бр}$. Это необходимо для того, чтобы иметь возможность изменением условий работы котла повысить его эффективность и тем самым сберечь тепло топлива [1].

Главным условием экономичного сжигания топлива является подача в топку достаточного количества воздуха, с которым на горение поступает кислород. Достичь полного сгорания топлива в котле при подаче теоретически необходимого количества кислорода как по причине конструктивного несовершенства

топочного устройства, так и вследствие того, что абсолютное перемешивание топлива с воздухом невозможно. Но, работая даже с избытком воздуха, мы получаем только более или менее совершенное сгорание топлива. При увеличении количества воздуха температура в топке понижается, между тем как высокая температура в топке является столь же важным условием полного выгорания топлива, как и количество воздуха [1]. Большое количество воздуха, подающееся в топку, непроизводительно забирает часть теплоты топлива. На практике поэтому опытным путем приходится устанавливать наиболее выгодное (оптимальное) количество подаваемого воздуха.

Для определения избытка воздуха в уходящих (и топочных) газах используются автоматические и не автоматические, основанные на разности удельных плотностей, химические, интерферометры, диффузионные [1]. Рассматриваемые газоанализаторы были разработаны и использовались ещё в XIX веке.