

# Разработка конструкции камеры печи для нагрева стальных труб

**М.В. Калачев**  
магистрант<sup>1</sup>  
bosch116@mail.ru

**Л.Ю. Тихонов**  
заведующий лабораторией<sup>3</sup>  
ofskr@mail.ru

**И.А. Савин**  
к.т.н., доцент<sup>2</sup>

**А.А. Новичков**  
студент<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кафедра «ПЛА», КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, Россия

<sup>2</sup>кафедра «КТМП», НЧФ КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, Набережные Челны, Россия

<sup>3</sup>ОАО «ТатНИИнефтемаш», Казань, Россия

**С развитием промышленных отраслей РФ повышаются требования к качеству выпускаемой продукции, следовательно, повышаются требования к качеству выполняемых технологических операций, связанных с созданием данной продукции. В данной статье рассматриваются конструктивные особенности новой камеры печи для нагрева стальных труб, позволяющие повысить качество (равномерность) нагрева стальных труб, эффективность использования теплового потока (КПД) и уменьшить время нагрева стальных труб.**

**Материалы и методы**  
Металлы и сплавы, данные промышленных исследований.

**Ключевые слова**  
стальная труба, нагрев, полимеризация покрытия

Несмотря на то, что в последнее время широкое применение получили трубы из полимерных материалов, стальная труба своих позиций практически не утратила. Ряд свойств, которые присущи данному материалу, делает ее незаменимой во многих случаях, а полимерное покрытие на внутренней и наружной поверхностях стальной трубы устраняет ряд их недостатков, связанных с коррозией.

Однако технологический процесс производства таких труб подразумевает ряд этапов, где стальная трубная заготовка подвергается нагреву до определенных температур и выдержке.

Наиболее распространенным способом нагрева металлических длинномерных полых изделий является конвективный нагрев в печи.

На сегодняшний день существует множество видов печей для нагрева труб из сталей и сплавов.

Тем не менее, большинство печей для нагрева стальных труб имеет ряд схожих существенных недостатков.

Основным недостатком таких печей является неравномерный нагрев по всей площади нагреваемого изделия, за счет ламинарного движения потока нагретых газов, что значительно снижает качество и увеличивает время нагрева.

Также малая производительность печей, из-за долгого ожидания нагрева длинномерного изделия до заданной температуры, ввиду того, что большой объем тепла уходит на нагрев самой камеры печи;

Можно также выделить один из недостатков — это неэффективное использование выделяемого потока нагретого воздуха, так как:

1. Теплообмен при нагревании изделия происходит при ламинарном движении потоков нагретого воздуха, что так же увеличивает время нагрева и уменьшает производительность;

2. Большой объем тепла уходит на нагрев камеры печи, где находятся стальные трубы.

Можно сделать вывод, что для качественного, эффективного нагрева стальной трубы конструкция печи должна равномерно регулировать температуру и направление потоков нагретых газов.

Поставленную задачу мы решили, разработав новую конструкцию высокоэнергетической печи с качественным, быстрым нагревом по всей площади изделия, использующей выделяемый поток нагретого газа от автономного источника.

Новизной данной конструкции является камера печи, позволяющая направлять поток нагретых газов, как на наружную, так и на внутреннюю поверхности длинномерного полого изделия, при этом регулируя угол атаки потока нагретых газов.

Камера печи — это помещение нагрева изделия (стальной трубы).

Воздуховод боковой направляет поток нагретых газов в камеру печи через боковое сопло.

Воздуховод нижний направляет поток нагретых газов в камеру печи через нижние жалюзийные решетки.

Боковое сопло установлено на одной из торцевых сторон камеры печи и направляет поток нагретых газов на внутреннюю поверхность трубы и регулирует угол атаки потока нагретых газов на внутреннюю поверхность трубы.

Нижние жалюзийные решетки установлены у основания камеры печи и направляют поток нагретых газов на наружную поверхность трубы и регулирует угол атаки потока нагретых газов на наружную поверхность трубы.

Стальная труба — нагреваемое изделие.

Дымоотвод направляет поток использованных для нагрева изделия (стальная труба) газов в дымоход.

Специальная оснастка предназначена для предания вращательного движения трубе и для сохранения наружной поверхности трубы от внешних контактов.

Подвесной конвейер предназначен для транспортировки трубы.

Дефлектор предназначен для создания дополнительной (искусственной) тяги в камере печи.

Шлюз предназначен для открытия/закрытия входа в камеру печи.

Перед началом работы, на концы стальной трубы устанавливаются специальные оснастки, предусмотренные данным способом, предающие стальной трубе вращательное движение во время их нагрева.

В рабочем режиме потоки нагретых газов направляют в камеру печи через воздуховод боковой и воздуховод нижний, боковое сопло и нижние жалюзийные решетки. Боковое сопло регулирует направление потока нагретых газов, поступающих через воздуховод боковой, и регулирует угол атаки потока нагретых газов на внутреннюю поверхность стальной трубы. Нижние жалюзийные решетки регулируют направление потока нагретых газов, поступающих через воздуховод нижний, и регулирует угол атаки потока нагретых газов на наружную поверхность стальной трубы.

Во время нагрева стальной трубы поток нагретых газов от автономного источника, поступающий через боковое сопло в камеру печи, направляют на внутреннюю поверхность стальной трубы, и направляют по спирали, чтобы предал потоку нагретых газов турбулентное движение. Это уменьшает время нагрева стальной трубы, способствуя повышению производительности печи и эффективному использованию тепла потока нагретых газов.

Во время нагрева стальной трубе предают вращательное движение с помощью специальных оснасток, установленных на концы стальной трубы 6, исключая контакт наружной поверхности стальной трубы с иными поверхностями, что делает нагрев стальной трубы более качественным.

Продолжительность нагрева длинномерного изделия до заданной температуры является важным параметром, определяющим

производительность печи и ее габаритные размеры.

Расчет нагрева металла начинается с определения критерия  $Bi$ .

Критерий  $Bi$  проводит границу «тонких» и «массивных» тел.

$Bi \leq 0,25$  — тело «тонкое»

$Bi > 0,5$  — тело «массивное»

$$Bi = \alpha \cdot S / \lambda$$

где  $S$  — прогреваемая толщина стенки трубы, м.

$S = 0,01$  м

$\lambda$  — средний коэффициент теплопроводности,  $Bm/(m \cdot ^\circ C)$

$$\lambda_{20} = 51,9 Bm/(m \cdot ^\circ C)$$

$$\lambda_{400} = 45 Bm/(m \cdot ^\circ C)$$

$$\lambda_{cp} = (\lambda_{20} + \lambda_{400})/2 = (51,9 + 45)/2 = 48,45 Bm/(m \cdot ^\circ C)$$

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи конвекцией,  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$  / при турбулентном движении в трубах или между ними находится в интервале — 12 — 115  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ ; возьмем значение ближе к максимальному 100  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ .

$Bi = 100 \cdot 0,01/48,45 = 0,02$  — тело «тонкое»

При расчете времени тонкостенных труб следует использовать формулу —

$$\tau = \left(1 - \frac{S}{d_{нар.}}\right) \cdot \frac{\bar{C}_p \cdot \rho \cdot S}{K' \cdot \alpha} \cdot \ln \frac{T_n - t_{мет.}^{нач.}}{T_n - t_{мет.}^{конеч.}}$$

где  $S$  — прогреваемая толщина стенки трубы, м;

$d_{нар.}$  — наружный диаметр трубы, м;

$K'$  — коэффициент, учитывающий способ укладки труб и зависящий от относительного расстояния между центрами труб  $m/d_{нар.}$ , где  $m$  — расстояние между центрами труб = 0,475 м, для одностороннего

нагрева при  $m/d_{нар.}$  составляющем 1,0; 1,5; 2,0, коэффициент  $K'$  равен соответственно 0,5; 0,8; 1,0/;

$$m/d_{нар.} = 0,475/0,325 \approx 1,5 \rightarrow K' = 0,8$$

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи конвекцией,  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$  / при турбулентном движении в трубах или между ними находится в интервале — 12 — 115  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ ; возьмем значение ближе к максимальному — 100  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ .

$$\begin{aligned} \tau &= \left(1 - \frac{S}{d_{нар.}}\right) \cdot \frac{\bar{C}_p \cdot \rho \cdot S}{K' \cdot \alpha} \cdot \ln \frac{T_n - t_{мет.}^{нач.}}{T_n - t_{мет.}^{конеч.}} = \\ &= \left(1 - \frac{0,01}{0,325}\right) \cdot \frac{624 \cdot 7800 \cdot 0,01}{0,8 \cdot 100} \cdot \ln \frac{440 - 20}{440 - 420} = \\ &= (1 - 0,0307) \cdot \frac{39936}{80} \cdot \ln 20 = \\ &= 0,9693 \cdot 608,4 \cdot 3,04 \approx 1792,75 с \approx 29,8 \text{ мин} \end{aligned}$$

Так как нагрев производит при направлении потока нагретых газов, как к наружной, так и к внутренней поверхности стальной трубы, то время уменьшится примерно 1,5–2,0 раза (среднее 1,75).

$$\tau_{факт.} \approx \tau/1,75 \approx 17 \text{ мин}$$

Из таблицы видно, что производительность новой печи для нагрева стальных труб будет выше на 45–75% относительно известных аналогов.

Подведя итоги, можно сказать, что конструкция новой печи имеет ряд преимуществ относительно существующих аналогов.

Основное преимущество — это повышение качества нагрева наружной и внутренней поверхности стальной трубы, за счет:

1. Предания вращательного движения стальной трубе специальными оснастками;
  2. Направления потока нагретых газов на наружную и внутреннюю поверхности стальной трубы;
  3. Исключения контакта наружной поверхности стальной трубы с иными поверхностями;
- А также уменьшение времени нагрева стальной трубы, за счет:

1. Предания вращательного движения стальной трубе специальными оснастками;
2. Направления потока нагретых газов на наружную и внутреннюю поверхности стальной трубы;
3. Турбулентного движения потока нагретых газов в камере печи;

Новая конструкция камеры печи повышает эффективность нагрева стальной трубы, за счет увеличения площади контакта стальной трубы с потоком нагретых газов, которое достигается, за счет направления потока нагретых газов непосредственно на наружную и внутреннюю поверхности стальной трубы.

Повышается производительность печи, за счет уменьшения времени нагрева стальной трубы.

## Итоги

Предлагаемая печь для нагрева труб по сравнению с аналогами:

1. Повышает качество нагрева наружной и внутренней поверхности стальной трубы, за счет:

- 1.1. Предания вращательного движения стальной трубе специальными оснастками;
- 1.2. Направления потока нагретых газов на наружную и внутреннюю поверхности стальной трубы;
- 1.3. Исключения контакта наружной поверхности стальной трубы с иными поверхностями;

2. Уменьшает время нагрева стальной трубы, за счет:

- 2.1. Предания вращательного движения стальной трубе специальными оснастками;
- 2.2. Направления потока нагретых газов на наружную и внутреннюю поверхности стальной трубы;
- 2.3. Турбулентного движения потока нагретых газов в камере печи;

3. Повышает эффективность нагрева стальной трубы, за счет увеличения площади контакта стальной трубы с потоком нагретых газов, которое достигается, за счет направления потока нагретых газов непосредственно на наружную и внутреннюю поверхности стальной трубы;

4. Повышается производительность печи, за счет уменьшения времени нагрева стальной трубы.

## Выводы

Внедрение данной технологии позволит повысить качество изготавливаемой продукции, производительность. А повышение эффективности использования теплового потока уменьшит срок окупаемости данной технологии.

## Список используемой литературы

1. Калачев М.В., Калачев И.Ф., Савин И.А., Новичков А.А. Заявка на патент РФ № 2014103388 от 31.01.2014.

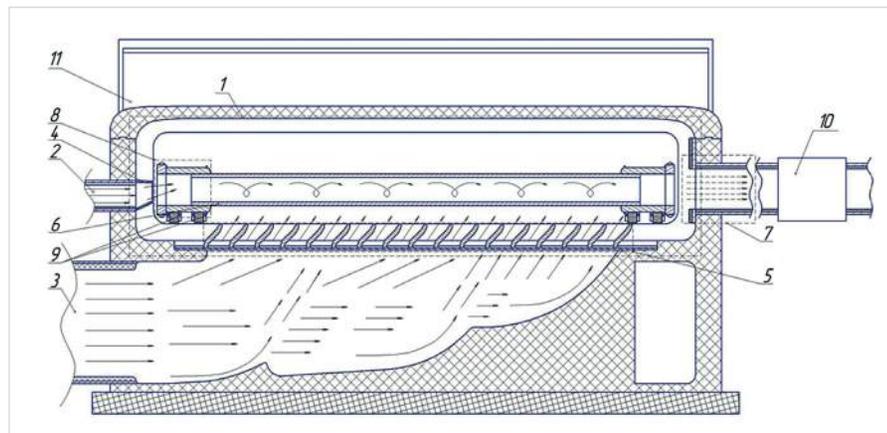


Рис. 1 — эскиз камеры печи. 1 — рабочая камера печи; 2 — воздуховод боковой; 3 — воздуховод нижний; 4 — боковое сопло; 5 — нижние железные решетки; 6 — стальная труба; 7 — дымоотвод; 8 — специальная оснастка; 9 — подвесной конвейер; 10 — дефлектор; 11 — шлюз.

№	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Время нагрева до 420°С, мин (обычная печь)	Время нагрева до 420°С, мин (новая печь для нагрева стальных труб)
1	57	3,5	14	≈ 8,0
2	76	4	≈ 15	≈ 8,6
3	89	5	≈ 17,5	≈ 10,0
4	114	6	≈ 20	≈ 11,4
5	159	7	≈ 22	≈ 12,8
6	219	8	≈ 25	≈ 14,2
7	273	9	≈ 28	≈ 15,6
8	325	10	≈ 30	≈ 17

Таб. 1 — Представлены наиболее часто применяемые стальные трубы и время их нагрева.

## Development of a design of the camera of the furnace for heating of steel pipes

UDC 621.643

### Authors:

**Maxim V. Kalachev** — master<sup>1</sup>; [bosch116@mail.ru](mailto:bosch116@mail.ru)

**Leonid Yu. Tikhonov** — head of laboratory<sup>2</sup>; [ofskr@mail.ru](mailto:ofskr@mail.ru)

**Igor A. Savin** — ph.d., associate professor<sup>2</sup>;

**Alexander A. Novichkov** — student<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Department of "PLA" Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI (KNRTU-KAI), Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Department of "KTMP" Naberezhnye Chelny branch Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI (KNRTU-KAI), Naberezhnye Chelny, Russian Federation

<sup>3</sup>TatNIIneftemash JSC, Kazan, Russian Federation

### Abstract

With development of industrial branches of the Russian Federation requirements to quality of products raise, therefore, requirements to quality of the carried-out technological operations connected with creation of this production raise. In this article design features of the new camera of the furnace for heating of the steel pipes, allowing to increase quality (uniformity) of heating of steel pipes, efficiency of use of a thermal stream (efficiency) and to reduce time of heating of steel pipes are considered.

### Materials and methods

Metals and alloys, data of industrial researches.

### Results

The offered furnace for heating of pipes in

comparison with analogs:

1. Increases quality of heating of an external and internal surface of a steel pipe, for the account:
  - 1.1. Legends of a rotary motion to a steel pipe special equipments;
  - 1.2. The directions of a stream of heated gases on external and internal surfaces of a steel pipe;
  - 1.3. Exceptions of contact of an external surface of a steel pipe with other surfaces;
2. Reduces time of heating of a steel pipe, for the account:
  - 2.1. Legends of a rotary motion to a steel pipe special equipments;
  - 2.2. The directions of a stream of heated gases on external and internal surfaces of a steel pipe;
  - 2.3. Whirl of a stream of heated gases in the furnace camera;

3. Increases efficiency of heating of a steel pipe, at the expense of increase in the area of contact of a steel pipe with a stream of heated gases which is reached, at the expense of the direction of a stream of heated gases directly on external and internal surfaces of a steel pipe;
4. Furnace productivity, due to reduction of time of heating of a steel pipe increases.

### Conclusions

Introduction of this technology will allow to increase quality of made production, productivity. And increase of efficiency of use of a thermal stream will reduce a payback period of this technology.

### Keywords

steel pipe, heating, covering polymerization

### References

1. Kalachev M.V., Kalachev I.F.,

Savin I.A., Novichkov A.A. Patent application of the Russian

Federation No. 2014103388 of 31.01.2014.

**КОМИТЕКС**  
www.komitex.ru

ЛИДЕР В ПРОИЗВОДСТВЕ  
НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИИ

Геотекстильные полотна «Геокот» для:

- строительства и ремонта автомобильных и железных дорог
- обустройства нефтяных, газовых и других месторождений и пр.
- нетканые полотна для строительства (обмотки трубопроводов; строительства бассейнов; при укладке тротуарной плитки; в инверсионной кровле и др.)

ОАО «Комитекс»

167981, г. Сыктывкар, ул. 2-я Промышленная, 10  
тел. (8212) 286-513, 286-547, 286-575; факс 286-560  
[market@komitex.ru](mailto:market@komitex.ru)

