УДК 66.045.12

Ольга Борисовна Колибаба
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой энергетики теплотехнологий и газоснабжения, Россия, Иваново, e-mail: koli-baba@mail.ru

Роман Дмитриевич Адакин
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный аграрный университет», доцент кафедры технического сервиса, Россия, Ярославль, e-mail: adakin@mail.ru

Елена Александровна Шуина
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой высшей математики, Россия, Иваново, e-mail: HM_ISPU.ispu.ru

Совершенствование теплогенератора ротационной хлебопекарной печи на основе математического моделирования

Авторское резюме

Состояние вопроса. В настоящее время в пищевой промышленности только 20–30 % предприятий, занимающихся выпечкой хлеба, оснащены по последнему слову техники, остальные используют изношенные основные фонды. На предприятиях широкое применение находят ротационные хлебопекарные печи, преимуществами которых являются: высокая производительность, равномерное пропекание изделий, приготовление нескольких видов выпечки за один цикл, возможность выпечки из замороженного теста. Тепловая работа ротационных печей на газообразном и жидком топливе организована при помощи теплогенератора, представляющего собой комбинацию двухходового трубчатого теплообменника и цилиндрической камеры сгорания (жаровой трубы). Затраты энергии на процесс в значительной степени зависят от эффективности его работы, поэтому возрастают требования к основным показателям работы теплогенератора: надежности, производительности, энергетической эффективности. В связи с этим стоит задача по совершенствованию и замене устаревших конструкций печей и их элементов новыми, обеспечивающими высокое качество продукции при снижении потребления топлива, пара и электроэнергии.
Материалы и методы. В качестве объекта исследования и усовершенствования конструктивного оформления теплогенератора использован теплогенератор ротационной хлебопекарной печи. Исследование проведено посредством численного эксперимента с использованием методов математического моделирования.
Результаты. В результате моделирования установлено, что наличие кожуха теплогенератора способствует повышению теплоотдачи, наибольшая теплоотдача имеет место при обдуве теплогенератора вдоль трубного пучка, начиная с жаровой трубы и заканчивая вторым ходом трубного пучка. Результаты проведенных численных исследований свидетельствует о том, что установка дефлекторов позволяет повысить температуру холодного теплоносителя на выходе из теплообменной части теплогенератора, при этом дефлекторы должны быть короткими и занимать 50–55 % площади в периферийной зоне и располагаться на расстоянии от 5 до 7 см от трубок теплогенератора, что способствует сокращению времени выхода печи на рабочий режим, снижению расхода топлива и повышению КПД хлебопекарной печи. На основе результатов численного моделирования была разработана и запатентована конструкция теплогенератора хлебопекарной ротационной печи.
Выводы. Результаты исследования имеют теоретическую и практическую значимость и могут послужить основой разработки инженерной методики теплового и конструктивного расчетов теплогенераторов при проектировании нового и модернизации существующего печного оборудования отечественного хлебопекарного производства. Разработанная конструкция теплогенератора может быть внедрена в производство.

Ключевые слова: теплогенератор, ротационная хлебопекарная печь, камера выпечки, жаровая труба, дефлектор, трубный пучок

Olga Borisovna Kolibaba
Ivanovo State Power Engineering University, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Head of Thermal Technologies and Gas Supply Department, Russia, Ivanovo, e-mail: koli-baba@mail.ru

Roman Dmitrievich Adakin
Yaroslavl State Agrarian University, Associate Professor of Technical Service Department, Russia, Yaroslavl, e-mail: adakin@mail.ru

Elena Aleksandrovna Shuina
Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences, (Post-doctoral degree), Professor, Head of Applied Mathematics Department, Russia, Ivanovo, e-mail: HM_ISPU.ispu.ru

© Колибаба О.Б., Адакин Р.Д., Шуина Е.А., 2026
Вестник ИГЭУ, 2026, вып. 5, с. 46–52.

Enhancement of heat generator of a rotary baking oven based on mathematical modeling

Abstract

Background. Currently, only 20–30 % of bread-baking enterprises in the food industry are equipped with the latest technology, while the rest use worn-out fixed assets. Rotary baking ovens are widely used in industrial facilities. They have certain advantages: high productivity, uniform baking, the ability to bake multiple types of products in a single cycle and to bake using frozen dough. The thermal operation of rotary furnaces fired by gaseous and liquid fuels is carried out using a heat generator, consisting of a combination of a two-way tubular heat exchanger and a cylindrical combustion chamber (flame tube). The energy cost of a process largely depends on the efficiency of its operation. Therefore, the requirements for the main performance indicators of the heat generator, such as reliability, productivity, and energy efficiency are increasing. In this regard, there is a need to improve and replace outdated furnace designs and their elements with new ones that ensure high-quality products while reducing fuel, steam and electricity consumption.
Materials and methods. The heat generator of a rotary baking oven has been used as the object of study and for the improvement of the heat generator's design configuration. The study is based on a numerical experiment using mathematical modeling methods.
Results. As a result of the simulation, it has been found that the presence of a heat generator casing enhances heat transfer. The greatest heat transfer occurs when the heat generator is subjected to airflow along the tube bundle, starting from the flame pipe and extending to the second stroke of the tube bundle. The results of numerical studies indicate that the installation of deflectors makes it possible to increase the temperature of the cold coolant at the outlet of the heat exchange part of the heat generator. At the same time the deflectors should be short and occupy 50–55 % of the area in the peripheral zone and be located at a distance of 5 to 7 cm from the heat generator tubes. It helps to reduce the time required for the oven to reach operating mode, to reduce fuel consumption and increase the efficiency of the baking oven. Based on the results of numerical modeling, a heat generator design for a rotary baking oven has been developed and patented.
Conclusions. The research findings are of both theoretical and practical significance and can serve as a basis to develop an engineering methodology for the thermal and structural design of heat generators applicable to both the design of new equipment and the modernization of existing oven systems in the domestic baking industry. The developed heat generator design is suitable for industrial implementation.

Key words: heat generator, rotary baking oven, baking oven, flame tube, deflector, tube bundle

DOI: 10.17588/2072-2672.2026.5.046-052

Введение. По количеству предприятий, объему и значимости продукции, стоимости основных производственных фондов хлебопекарная промышленность является одной из ведущих отраслей пищевой промышленности России. Однако в настоящее время только 20–30 % хлебопекарных предприятий соответствуют современному техническому уровню [1], который предопределяет экономические показатели работы предприятия.

В поточной выработке хлеба печь занимает ведущее место, поскольку в печных агрегатах завершается весь комплекс процессов, связанных с производством хлеба. Следовательно, от режима работы хлебопекарной печи зависят не только ее технико-экономические показатели (удельный расход топлива, пара, электроэнергии), но и качество и объемный выход продукта. Современные хлебопекарные печи являются крупными потребителями тепловой и электрической энергии, поэтому исследование и улучшение тепловых характеристик этих печей представляет собой актуальную задачу промышленной теплоэнергетики.

В настоящее время в пекарнях и на предприятиях общественного питания широкое применение находят ротационные хлебопекарные печи, преимуществами которых являются: высокая производительность; равномерное пропекание изделий; приготовление нескольких видов выпечки за один цикл; возможность выпечки из замороженного теста; надежность конструкции; простота и удобство эксплуатации. В качестве источника энергии печи используют электричество, газ и дизельное топливо. Этот вид оборудования используется как для оснащения открывающихся, так и модернизации действующих предприятий [2].

Тепловая работа ротационных печей на газообразном и жидком топливе организована при помощи теплогенератора (ТГ), представляющего собой комбинацию двухходового трубчатого теплообменника (ТО) и цилиндрической камеры сгорания (жаровой трубы). Затраты энергии на процесс в значительной степени зависят от эффективности его работы. На практике с лучшей стороны себя зарекомендовали теплогенераторы, в которых камера сгорания представляет собой один из ходов теплообменного устройства (рис. 1).

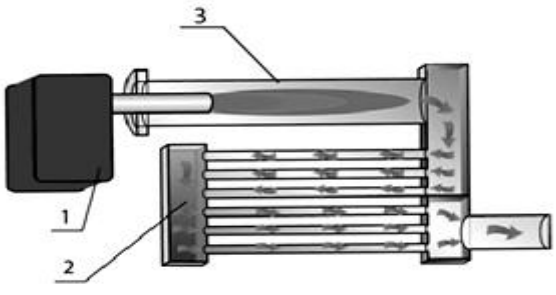


Рис. 1. Теплогенератор ротационной печи: 1 – горелка; 2 – двухходовой теплообменник

Поскольку в настоящее время в хлебопекарной отрасли происходит процесс непрерывного совершенствования, а именно разрабатываются прогрессивные технологические схемы, основанные на снижении потерь и затрат сырья, интенсифицируются производственные процессы, создаются новые виды продукции, то, соответственно, возрастают и требования к основным показателям работы технологического оборудования, его надежности, производительности, энергетической эффективности. В связи с этим стоит задача по совершенствованию и замене устаревших конструкций печей и их элементов новыми, обеспечивающими высокое качество продукции при снижении потребления топлива, пара и электроэнергии.

Анализ литературных данных [3, 4, 5] показывает, что ведутся исследования, направленные на улучшение теплотехнических показателей работы ротационных печей и повышение качества выпускаемой продукции, при этом вопросу совершенствования металлических теплогенераторов уделяется недостаточно внимания. Так, например, нет научных обоснований и рекомендаций по конструктивному оформлению теплогенератора с максимально эффективными характеристиками и высоким КПД, а именно: по распределению поверхности теплоотдачи между жаровой трубой и ТА; геометрическим параметрам камеры сгорания и ТА с учетом их гидравлических сопротивлений; использованию кожуха, в который помещают ТГ; компоновке и материалам трубок ТА; наличию и геометрии интенсификаторов теплообмена и др. Технические решения принимаются конструктором завода-изготовителя печей на основе предварительных расчетов и опыта использования различных вариантов компоновок печей с ТГ в работе при выпечке продукции.

В нашем предыдущем исследовании тепловой работы ротационной печи ПКХ–1 [6] была отмечена невысокая тепловая эффективность работы ТГ, приводящая к недогреву камеры выпечки до значений, соответствующих техническим условиям, что обусловливает необходимость разработки новых технических решений, направленных на совершенствование конструктивного оформления данного устройства.

Целью настоящего исследования является усовершенствование конструктивного оформления ТГ ротационной хлебопекарной печи на основе математического моделирования его тепловой работы.

Методы исследования. Численное исследование было проведено с помощью разработанной нами и реализованной в программном комплексе SolidWorks (приложение Flow Simulation) математической модели действующего ТГ ротационной печи [6, 7, 8].

Математическое описание представлено системой дифференциальных уравнений движения и сплошности вязкого несжимаемого потока:

$$\frac{\partial \vec{\upsilon}}{\partial \tau} + \vec{\upsilon} \cdot \mathrm{grad}\vec{\upsilon} = \vec{g} - \frac{1}{\rho}\mathrm{grad}P + \nu\nabla^2\vec{\upsilon}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \mathrm{div}\rho\vec{\upsilon} = 0, \quad (2)$$

а также уравнения, описывающего температурное поле в потоке теплоносителя:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \vec{\upsilon} \cdot \mathrm{grad}t = a\nabla^2 t, \quad (3)$$

где υ – скорость теплоносителя, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2; ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3; P – давление, Па; ν – кинематический коэффициент вязкости, м^2/с; τ – время, с; t – температура, °С; a – коэффициент температуропроводности теплоносителя, м/с^2; $\nabla^2\upsilon$ – Лапласиан вектора скорости, т. е. вектор, каждая компонента которого является Лапласианом соответствующей компоненты вектора скорости, мерой того, как «искривлена» соответствующая компонента скорости в данной точке пространства; grad$P$ – градиент скалярного поля давления (результатом является вектор, указывающий направление наискорейшего возрастания давления, а модуль вектора равен скорости этого возрастания); $\nu\nabla^2\upsilon$ – вязкая сила, которая действует на газ и влияет на его движение (чем больше деформация газа, тем больше вязкие напряжения и тем больше сопротивление движению, т.е. данное слагаемое описывает деформацию газа и определяет вязкие напряжения); div($\rho\upsilon$) – дивергенция потока массы (конвективный член уравнения, описывающий вынос массы из точки за счет движения среды); $\nabla^2 t$ – Лапласиан скалярного поля температуры t (мера того, насколько температура в данной точке отличается от среднего значения температуры в окрестности этой точки).

При решении задачи в качестве граничных условий были заданы:

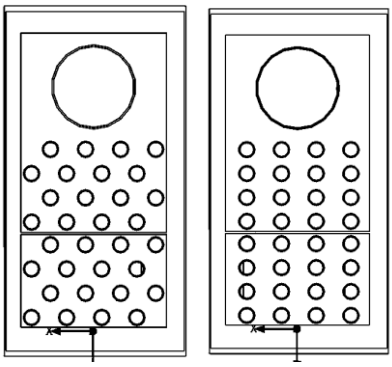
– для нагреваемого теплоносителя: влажность 0,1–0,6 кг/кг; скорость движения 1–5 м/с;

– для греющего теплоносителя: влажность 0,04 кг/кг; тепловой поток Q = 50 кВт.

Адекватность разработанной математической модели подтверждена сопоставлением результатов расчета и промышленного эксперимента [6].

В целях устранения существующих недостатков теплогенератора и повышения эффективности его работы проведены расчетные исследования на математической модели, направленные на совершенствование его конструкции (выбор геометрии интенсификаторов теплообмена, изменение компоновки трубного пучка, использование кожуха и т.п.).

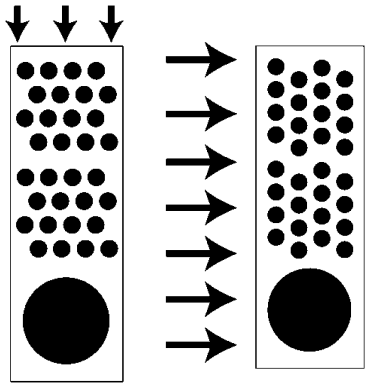
На первом этапе исследования была проведена серия численных экспериментов по оценке влияния компоновки трубного пучка на эффективность тепловой работы ТО. Были рассмотрены варианты с коридорным и шахматным расположением трубок (рис. 2). ТГ с шахматным расположением трубок оказался предпочтительным, поскольку температура воздуха на выходе из ТГ шахматной компоновки выше и составляет 217 °С, в то время как ТГ коридорной компоновки имеет на выходе температуру 210 °С.



а) б)

Рис. 2. Теплогенераторы: а – шахматный; б – коридорный

Другим фактором, влияющим на эффективность работы ТГ, является способ обдува трубного пучка холодным теплоносителем (воздухом): вертикальный (рис. 3,а) или горизонтальный (боковой) (рис. 3,б).



а) б)

Рис. 3. Схемы обдува теплогенератора без кожуха холодным теплоносителем: а – вертикальный обдув трубок сверху вниз; б – боковой обдув трубок

В ходе моделирования установлено, что при боковом обдуве ТГ температура воздуха составила 213 °С, при вертикальном обдуве сверху вниз – 222 °С, а при вертикальном обдуве снизу вверх – 221 °С. Следовательно, эффективными являются оба варианта вертикального обдува.

На следующем этапе были проведены численные исследования теплообмена и газодинамики в теплогенераторе базовой компоновки, дополненном кожухом и интенсификаторами теплообмена – дефлекторами. Кожух обеспечивает направление движения холодного теплоносителя на трубный пучок ТГ, а дефлекторы создают локальные завихрения и турбулизацию потока, обеспечивая таким образом интенсификацию теплообмена в пограничном слое. Геометрия самих дефлекторов при этом играет немаловажную роль.

Стоит отметить, что в качестве базовой модели принята конструкция теплогенератора без кожуха. В таком варианте температура холодного теплоносителя составила 215 °С. Данную температуру холодного теплоносителя на выходе из ТГ примем за контрольную, с которой будем сравнивать последующие температуры холодного теплоносителя, полученные при изменении геометрии и местоположения дефлекторов.

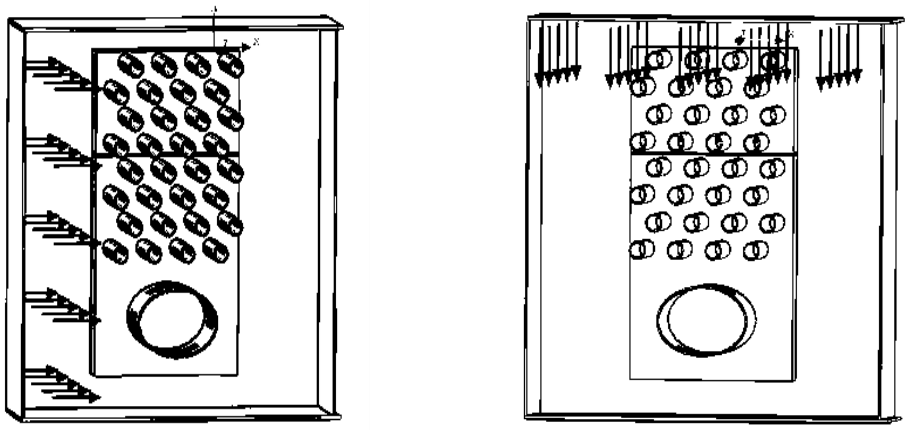
Результаты исследования. Результаты моделирования при различных вариантах модификации ТГ представлены на рис. 4–6.

После установки направляющего кожуха на ТГ расчетная температура холодного теплоносителя составила 216–217 °С, при этом становится возможным закрепить на внутренних стенках кожуха дефлекторы, создающие пристеночную турбулизацию потока, не оказывая сопротивления основному потоку теплоносителя, проходящему через теплообменную часть теплогенератора.

В процессе моделирования сравнивали прямые дефлекторы различной длины, размещая их под различными углами к потоку воздуха. В ходе исследований было установлено, что предпочтительными являются короткие дефлекторы. Данный вид дефлекторов позволил повысить температуру теплоносителя до 220 °С. Их количество должно быть таким, чтобы заполнить примерно 50–60 % пристеночной площади кожуха. В случае использования длинных дефлекторов наблюдается снижение теплоотдачи.

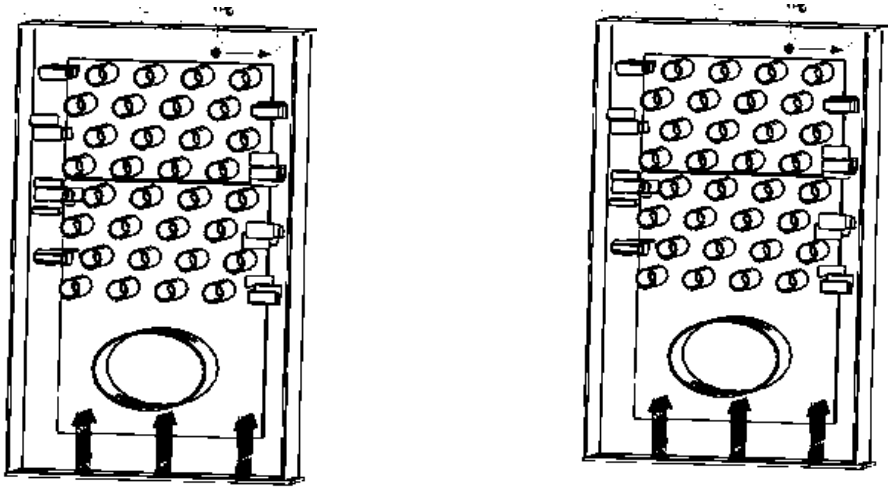
Результаты сравнения базового варианта ТГ и ТГ в кожухе с дефлекторами приведены в таблице.

В ходе исследования влияния расположения дефлекторов на теплоотдачу было замечено, что чем ближе размещены дефлекторы к теплообменной поверхности ТГ, тем теплоотдача ниже, и наоборот, если их отодвинуть на 50–70 мм от поверхности теплообмена, то теплоотдача возрастает. Размещение дефлекторов на расстоянии более 70 мм от поверхности привело к обратному эффекту – снижению теплоотдачи. Направление потока холодного теплоносителя (обдув) показано на рис. 4–6 стрелками.



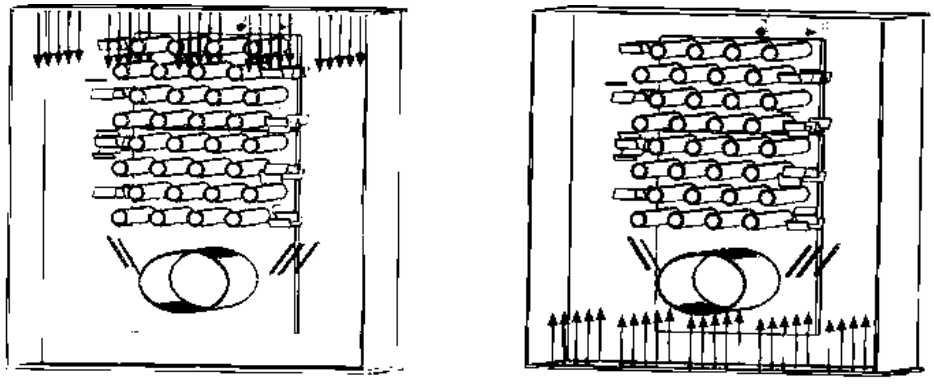
а) б)

Рис. 4. Базовый вариант ТГ – 3D модель без кожуха и дефлекторов (коробкой показана зона расчета, не имеющая физических стенок): а – обдув холодным теплоносителем горизонтальный, температура воздуха на выходе 212 ºС; б – обдув холодным теплоносителем вертикальный сверху, температура воздуха на выходе 215 ºС



а) б)

Рис. 5. Модель ТГ с направляющим кожухом, внутри которого размещены под разным углом прямые дефлекторы: а – обдув холодным теплоносителем вертикальный снизу вверх, расстояние между кожухом и корпусом ТГ 50 мм, температура воздуха на выходе 220 ºС; б – обдув холодным теплоносителем вертикальный снизу вверх, расстояние между кожухом и корпусом ТГ 70 мм, температура воздуха на выходе 221 ºС



а) б)

Рис. 6. Модель ТГ с направляющим кожухом с широкими стенками, внутри которого размещены под разным углом прямые дефлекторы, рядом с жаровой трубой установлены направляющие, расстояние между кожухом и корпусом ТГ 220 мм: а – обдув холодным теплоносителем вертикальный сверху, температура воздуха на выходе 217 ºС; б – обдув холодным теплоносителем вертикальный снизу, температура воздуха на выходе 220ºС

Результаты сравнения вариантов компоновки ТГ

Варианты компоновки теплогенератора	Средняя температура воздуха на выходе из ТГ, °С	Энтальпия, воздуха на выходе из ТГ, кДж/кг
Базовый ТГ без дефлекторов и кожуха	212	562,866
Базовый ТГ без дефлекторов с кожухом	217,5	568,177
ТГ с дефлекторами	220	571,38

На основе результатов численного моделирования была разработана конструкция ТГ хлебопекарной ротационной печи, обеспечивающая повышение интенсивности теплообмена [9]. Схема предлагаемого теплогенератора представлена на рис. 7.

Теплотехнологический процесс в хлебопекарной ротационной печи осуществляется следующим образом. Горячий воздух для выпечки получают за счет сжигания газа в газовой горелке *2* теплогенератора и передачи тепла с помощью теплообменника через воздуховод в пекарную камеру. От газовой горелки *2* продукты горения поступают в жаровую трубу *3*. Уходящие дымовые газы движутся внутри пучка теплообменных трубок *4* и удаляются через патрубок отвода дымовых газов *7*. Для транспортировки горячих дымовых газов от горелки *2* к дымоходу используют, например, s-образные трубки, также возможно использовать прямые трубки *4* в сочетании с поворотными коллекторами *8*, расположенные внутри кожуха *1*.

Нагреваемый воздух, циркулирующий в пекарной камере, поступает в кожух *1* снизу, где теплообменные трубки *4* имеют самую низкую температуру. Нагреваемый воздух движется в межтрубном пространстве, омывая теплообменные трубки *4*, направляясь вверх, где температура трубок высокая. У боковых стенок кожуха *1* дефлекторы *5* обеспечивают локальные завихрения, приводящие к турбулизации потока и его направлению внутрь трубного пучка, что приводит к интенсификации теплообмена и увеличению теплоотдачи. Направляющие *6* в виде наклонных полок на боковых стенках кожуха *1* над пучком трубок *4* обеспечивают направленное движение подогретого теплоносителя на обтекание жаровой трубы *3*, повышая таким образом теплоотдачу. Численным моделированием были получены: расстояние от центра трубки до дефлектора, равное 0,7 от расстояния между центрами трубок по фронту потока; величина угла наклона α = 30° направляющих *6*, выполненных в виде наклонных полок.

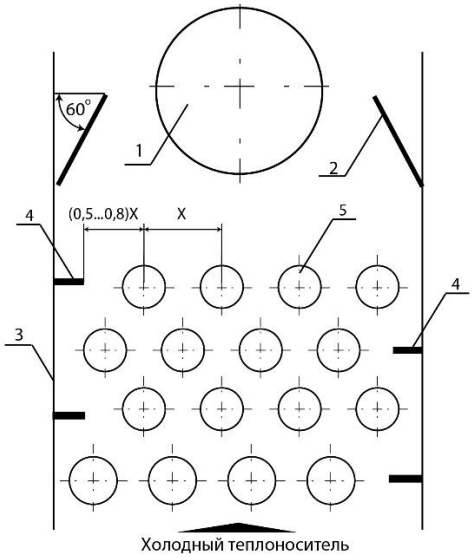


Рис. 7. Схема теплогенератора: 1 – жаровая туба; 2 – направляющие; 3 – кожух; 4 – дефлекторы; 5 – трубный пучок

Выводы. В результате численного моделирования установлено, что наличие кожуха теплогенератора способствует повышению теплоотдачи.

Наибольшая теплоотдача имеет место при обдуве теплогенератора вдоль трубного пучка, начиная с жаровой трубы и заканчивая вторым ходом трубного пучка.

Установка дефлекторов позволяет повысить температуру холодного теплоносителя на выходе из теплообменной части ТГ, причем дефлекторы должны быть короткими и занимать 50–55 % площади в периферийной зоне и располагаться на расстоянии 50–70 мм от трубок ТГ, что способствует сокращению времени выхода печи на рабочий режим и снижению расхода топлива.

Результаты исследования имеют теоретическую и практическую значимость и могут послужить основой разработки инженерной методики теплового и конструктивного расчетов теплогенераторов при проектировании нового и модернизации существующего печного оборудования отечественной хлебопекарного производства. Разработанная конструкция теплогенератора может быть внедрена в производство.

Список литературы

1. **Васюк А.А.** Состояние и перспективы хлебопекарной отрасли [Электронный ресурс] // URL: https://tstu.ru/book/elib/pdf/mg/2005/vlasuk.pdf (дата обращения: 14.01.2026).

2. **Ротационные** печи: виды и особенности выбора [Электронный ресурс] // URL: https://memak.ru/press-center/articles/rotatsionnye-pechi-vidy-i-osobennosti-vybora/ (дата обращения: 14.01.2026).

3. **Пат.** № 2477049 Российская Федерация, МПК A21B 3/04. Хлебопекарная печь: № 2011107302/13; заявл. 2009.07.24; опубл.

2013.03.10 / Михаэль КОС (DE); патентообладатель Миве Михаэль Венц ГМБХ (DE); Бюл. № 7. – 12 с.

4. **Пат.** № 19995 Российская Федерация, МПК A21B 1/44. Ротационная хлебопекарная печь: № 2001112916/20; заявл. 2001.05.16; опубл. 2001.10.20 / С.Г. Ульянин, В.С. Бакурский, С.П. Комиссаров, Т.Л. Кальянова. – 11 с.

5. **Пат.** № 183136 Российская Федерация, МПК A21B 1/00. Печь хлебопекарная ротационная: № 2016141500: заявл. 2016.10.21; опубл. 2018.09.12 / В.А. Минькин, В.В. Власенко; патентообладатель Непубличное акционерное общество «Шебекинский машиностроительный завод»; Бюл. № 22. – 4 с.

6. **Колибаба О.Б., Адакин Р.Д., Шуина Е.А.** Исследование тепловой работы теплогенератора ротационной хлебопекарной печи // Вестник ИГЭУ. – 2023. – Вып. 6. – С. 23–28.

7. **CADArtifex.** Solidworks 2015 / A Power Guide for Beginner and Intermediate Users. – CADArtifex, 2015.

8. **UCF** Engineering. SolidWorks lessons / University of Central Florida, College of Engineering and Computer Science, USA, 2015. – 253 pages.

9. **Пат.** на полезную модель RU 222074 U1. Теплогенератор хлебопекарной ротационной печи: № 2023126512: заявл. 16.10.2023; опубл. 11.12.2023 / О.Б. Колибаба, Р.Д. Адакин. – 5 с.

References

1. Vasyuk, A.A. *Sostoyanie i perspektivy khlebopekarnoy otrasli* [The state and prospects of the bakery industry]. Available at: https://tstu.ru/book/elib/pdf/mg/2005/vlasuk.pdf (date of request: 14.01.2026).

2. *Rotatsionnye pechi: vidy i osobennosti vybora* [Rotary kilns: types and peculiarities of choice]. Available at: https://memak.ru/press-center/articles/rotatsionnye-pechi-vidy-i-osobennosti-vybora/ (date of access: 14.01.2026).

3. Kos, M. *Khlebopekarnaya pech'* [Baking oven]. Patent RF, no. 2477049, 2013.

4. Ul'yanin, S.G., Bakurskiy, V.S., Komissarov, S.P., Kal'yanova, T.L. *Rotatsionnaya khlebopekarnaya pech'* [Rotary baking oven]. Patent RF, no. 19995, 2001.

5. Minkin, V.A., Vlasenko, V.V. *Pech' khlebopekarnaya rotatsionnaya* [Rotary bread-baking oven]. Patent RF, no. 183136, 2018.

6. Kolibaba, O.B., Adakin, R.D., Shuina, E.A. Issledovanie teplovoy raboty teplogeneratora rotatsionnoy khlebopekarnoy pechi [Investigation of the thermal operation of the rotary bakery oven heat generator]. *Vestnik IGEU*, 2023, issue 6, pp. 23–28.

7. CADArtifex. Solidworks 2015. A Power Guide for Beginner and Intermediate Users. CADArtifex, 2015.

8. UCF Engineering. SolidWorks lessons. University of Central Florida, College of Engineering and Computer Science, USA, 2015. 253 p.

9. Kolibaba, O.B., Adakin, R.D. *Teplogenerator khlebopekarnoy rotatsionnoy pechi* [Rotary kiln heat generator]. Patent RU, no. 222074, 2023.